

**PERENCANAAN JARINGAN *LONG TERM EVOLUTION* (LTE)  
PADA FREKUENSI 700 MHZ DI JALUR TOL CIPALI  
BERDASARKAN *COVERAGE* DAN *CAPACITY* MENGGUNAKAN  
*SOFTWARE ATOLL RADIO PLANNING***

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**

## LEMBAR PENGESAHAN

**PERENCANAAN JARINGAN *LONG TERM EVOLUTION* (LTE) PADA FREKUENSI 700 MHZ DI JALUR TOL CIPALI BERDASARKAN COVERAGE DAN CAPACITY MENGGUNAKAN *SOFTWARE ATOLL RADIO PLANNING***

### SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan

memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**IHSANURIZA HAROMAIN**  
**NIM. 125060300111091**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal 18 Mei 2018

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Sigit Kusmaryanto, M. Eng.**  
**NIP. 19700310 199412 1 001**

**Sapriesty Nainy Sari, S.T., M.T.**  
**NIP. 201201 880412 2 001**

**JUDUL SKRIPSI:**

**PERENCANAAN JARINGAN *LONG TERM EVOLUTION* (LTE) PADA FREKUENSI 700 MHZ DI JALUR TOL CIPALI BERDASARKAN COVERAGE DAN *CAPACITY* MENGGUNAKAN *SOFTWARE ATOLL RADIO PLANNING***

Nama Mahasiswa : Ihsanuriza Haromain  
NIM : 125060300111091  
Program Studi : Teknik Elektro  
Konsentrasi : Teknik Telekomunikasi

**KOMISI PEMBIMBING:**

Ketua : Ir. Sigit Kusmaryanto, M.Eng. ....

Anggota : Sapriesty Nainy Sari, S.T., M.T. ....

**TIM DOSEN PENGUJI:**

Dosen Penguji 1 : Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.S. ....

Dosen Penguji 2 : Ir. Erfan Achmad Dahlan, M.T. ....

Dosen Penguji 3 : Gaguk Asmungi, S.T., M.T. ....

Tanggal Ujian : 25 Mei 2018

SK Penguji :

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

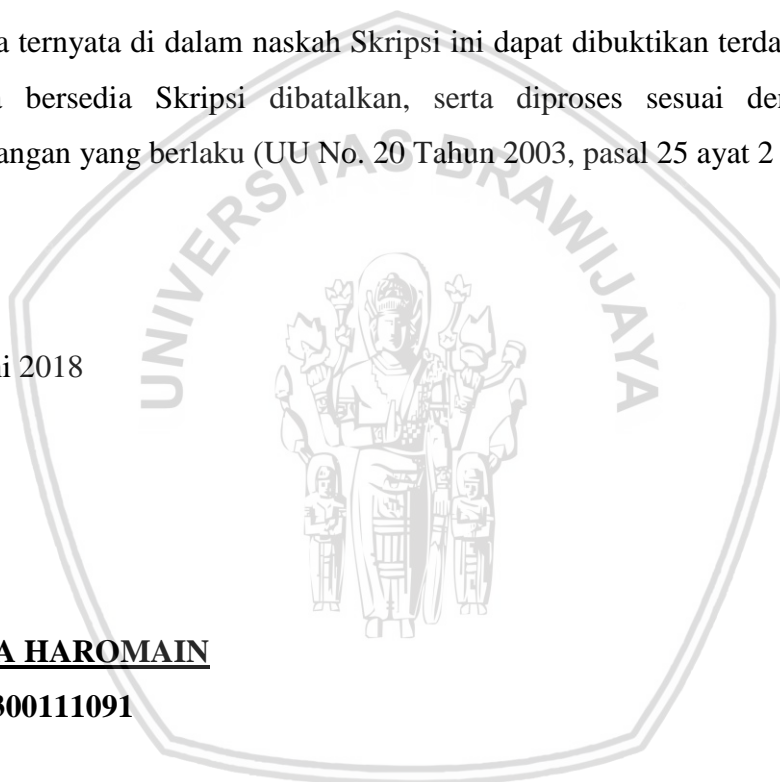
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundangundangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 8 Juni 2018

**Mahasiswa,**

**IHSANURIZA HAROMAIN**

**NIM. 125060300111091**





*Teriring Syukur Atas Segala Nikmat kepada :  
Allah Subhanahu Wa Ta'ala*

## RINGKASAN

**Ihsanuriza Haromain**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2018, *Perencanaan Jaringan Long Term Evolution (LTE) Pada Frekuensi 700 MHz Di Jalur Tol Cipali Berdasarkan Coverage Dan Capacity Menggunakan Software Atoll Radio Planning*, Dosen Pembimbing: Ir. Sigit Kusmaryanto, M.Eng. dan Sapriesty Nainy Sari, S.T., M.T.

LTE merupakan teknologi berbasis *Internet Protocol* (IP) dengan peningkatan kecepatan dan efisiensi spektrum dibanding teknologi sebelumnya. Frekuensi 700 MHz merupakan frekuensi yang paling ideal untuk LTE di Indonesia atas dasar cakupan yang luas, ketersediaan *bandwidth* yang lebar, serta *propagation loss* yang lebih kecil dibandingkan dengan frekuensi lain yang telah beroperasi di Indonesia. Namun, frekuensi 700 MHz diperkirakan baru siap digunakan pada tahun 2020.

Pada penelitian ini dilakukan prediksi pengguna LTE di jalur tol Cipali pada tahun 2020. Data yang digunakan untuk mendapatkan proyeksi pengguna adalah data trafik kendaraan di jalur tol Cipali pada tahun 2015-2016. Penentuan jumlah eNodeB mengacu pada perbandingan kebutuhan antara *capacity* dan *coverage dimensioning*. Penempatan lokasi eNodeB mempertimbangkan *blank spot area* dan kepadatan pengguna di setiap seksi. Kualitas cakupan jaringan hasil perencanaan diuji secara simulasi menggunakan *software Atoll Radio Planning*.

Perhitungan *dimensioning* menunjukkan bahwa jumlah eNodeB yang dibutuhkan dalam perencanaan sebanyak 11 *site* eNodeB dan 22 *cell* karena menggunakan antenna 2-*sectoral*. Hasil simulasi menunjukkan nilai *signal level* rata-rata -74,07 dBm dengan *signal level* yang dikategorikan baik, yaitu  $>-90$  dBm mampu mencakup daerah seluas  $65 \text{ km}^2$ . Nilai rata-rata RSRP yang diperoleh adalah -115,4 dBm dimana sebagian besar cakupan dalam kondisi normal. Hasil simulasi menunjukkan nilai  $C/(I+N)$  rata-rata diperoleh sebesar 9,04 dB dan nilai tertinggi sebesar 30 dB dapat mencakup area seluas  $9,48 \text{ km}^2$ . Nilai *throughput* tertinggi yang diperoleh sebesar 50.000 Kbps dan masih di bawah kapasitas *throughput* per *cell* yang dapat dilayani pada perhitungan yang diperkirakan sebesar 68.860 Kbps.

Kata kunci: lte, *dimensioning*, atoll, *path loss*, rsrp, *signal level*,  $C/(I+N)$ , *throughput*

## SUMMARY

**Ihsanuriza Haromain**, *Departement of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, November 2016, Long Term Evolution (LTE) Network Planning at 700 MHz Frequency in Cipali Toll Road Based on Coverage and Capacity using Atoll Radio Planning Software, Academic Supervisor: Ir. Sigit Kusmaryanto, M.Eng. and Sapriesty Nainy Sari, S.T., M.T.*

*LTE is an Internet Protocol (IP) based technology with speed and spectral efficiency enhancement than previous technologies. The 700 MHz frequency is the most ideal frequency for LTE in Indonesia because of the broad coverage area, bandwidth availability, as well as the propagation loss is smaller than the other frequencies that have been operating in Indonesia. But, the 700MHz frequency is estimated ready in 2020.*

*In this study, predict the LTE user in Cipali Toll Road in 2020. The data used to derive projections of users is the data of vehicle traffic at Cipali Toll Road in 2015-2016. Determination of the eNodeB number refers to the ratio between the capacity and coverage needs of dimensioning. Placement location eNodeB expensive blank spot area and density of users in each region. The quality of network coverage planning results tested in simulations using software Atoll Radio Planning.*

*Dimensioning calculation shows that the number eNodeB needed in the planning as many as 11 eNodeB sites and 22 cells because is uses 2-sectoral antenna. The simulation results show the value of the average signal level is -74,07 dBm signal levels are considered good,  $> -90$  dBm is capable of covering an area of  $65 \text{ km}^2$ . The average value of RSRP obtained is -115,4 dBm where most of the coverage in normal conditions. The simulation results show the value of average  $C/(I+N)$  is 9,04 dB the highest value is 30 dB and capable of covering an area of  $9,48 \text{ km}^2$ . The highest throughput values obtained is 50.000 Kbps and lower than throughput capacity per cell that can be served in the calculation of which is estimated at 68.860 Kbps.*

*Key word: lte, dimensioning, atoll, path loss, rsrp, signal level,  $C/(I+N)$ , throughput*



## PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa terlimpah kepada Rasulullah Shalallahu 'alaihi Wa Sallam beserta keluarga, para sahabat dan umatnya hingga akhir zaman.

Penulisan ini diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Penulis menyusun skripsi dengan judul “Perencanaan Jaringan *Long Term Evolution* (LTE) Pada Frekuensi 700 MHz Di Jalur Tol Cipali Berdasarkan *Coverage* Dan *Capacity* Menggunakan *Software Atoll Radio Planning*”.

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta, Bapak Hermansyah dan Ibu Titik Sugiyatmi, serta adik saya, Safira Qolbi Aqilah, yang selalu mendoakan dan mendukung saya dalam segala kondisi.
2. Bapak Hadi Suyono S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Ibu Ir. Nurussa'adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
5. Ibu Rusmi Ambarwati, S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Telekomunikasi Universitas Brawijaya.
6. Bapak Ir. Sigit Kusmaryanto, M.Eng. dan Ibu Sapriesty Nainy Sari, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing.
7. Bapak, Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
8. Teman-teman seangkatan, Voltage 12, atas kenangan selama perkuliahan.
9. Teman-teman terdekat atas kebersamaan dan dukungan yang berarti bagi penulis.
10. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu,



penulis berharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang, semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, Mei 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 <i>Long Term Evolution</i> (LTE) .....	5
2.1.1 Konfigurasi Jaringan LTE .....	5
2.2 Perbandingan LTE Dengan Teknologi Sebelumnya .....	8
2.3 Mode <i>Duplexing</i> LTE .....	9
2.4 Pemilihan Frekuensi 700 MHz untuk Penggelaran LTE .....	11
2.4.1 Standar Frekuensi Berdasarkan Asia-Pacific <i>Telecommunity</i> (APT) .....	11
2.4.2 Rekomendasi Frekuensi LTE di Indonesia .....	12
2.4.3 Ketersediaan Perangkat Pendukung .....	12
2.5 Perencanaan Jaringan Seluler .....	13
2.5.1 Morfologi Area .....	13
2.6 <i>Coverage Dimensioning</i> .....	14
2.6.1 <i>Uplink Calculation</i> .....	14
2.6.2 <i>Downlink Calculation</i> .....	15
2.6.3 Perhitungan Jari-Jari Sel .....	16
2.6.4 Perhitungan Luas Sel .....	17
2.6.5 Perhitungan Jumlah <i>Site</i> .....	18
2.7 Prediksi Jumlah Pengguna LTE .....	18
2.7.1 Metode Prediksi Jumlah Penduduk .....	18
2.8 <i>Capacity Dimensioning</i> .....	20
2.8.1 Trafik dan Model Layanan .....	20
2.8.2 Kapasitas Sel <i>Downlink</i> dan <i>Uplink</i> .....	22
2.8.3 Perhitungan Jumlah <i>Site</i> .....	24
2.10 <i>Software Atoll Radio Planning</i> .....	24

<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1 Kerangka Pemecahan Masalah .....	25
3.2 Jenis Dan Prose Pengumpulan Data .....	29
3.3 Variabel Dan Cara Analisis .....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>31</b>
4.1 Tol Cipali .....	31
4.1.1 Geografis .....	31
4.1.2 Jumlah Pengguna Jalan .....	31
4.2 Prediksi Jumlah Pengguna Jalan Tahun 2020 .....	32
4.2.1 Prediksi Penduduk Setiap Seksi .....	33
4.3 <i>Coverage Dimensioning</i> .....	38
4.4.1 <i>Radio Link Budget</i> .....	38
4.4.2 Perhitungan Jari-Jari Sel .....	40
4.4.3 Perhitungan Jumlah <i>Site</i> .....	40
4.4 <i>Capacity Dimensioning</i> .....	41
4.5.1 Trafik dan Model Layanan .....	41
4.5.2 Kapasitas Sel .....	43
4.5.3 Perhitungan Jumlah eNodeB Berdasarkan <i>Capacity</i> .....	44
4.5 Perencanaan Lokasi eNodeB .....	46
4.6 Konfigurasi Parameter Pada <i>Software Atoll</i> .....	46
4.7 Hasil dan Analisa Simulasi Pada <i>Software Atoll</i> .....	48
4.7.1 Pemetaan eNodeB Pada <i>Software Atoll</i> .....	48
4.7.2 Analisa Model Propagasi Okumura-Hatta .....	49
4.7.3 Distribusi Level Daya Terima .....	49
4.7.4 Distribusi <i>Effective signal di Jalur Tol Cipali</i> .....	50
4.7.4 Distribusi <i>Carrier to Interference Noise</i> .....	52
4.7.5 Distribusi <i>Throughput</i> .....	53
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>55</b>
5.1 Kesimpulan .....	55
5.2 Saran .....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>59</b>

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Perbandingan LTE dengan teknologi sebelumnya .....	8
Tabel 2.2	Perbandingan LTE TDD dan LTE FDD.....	9
Tabel 2.3	Efek pertumbuhan penduduk terhadap variasi tanda b dan c .....	19
Tabel 2.4	Parameter model layanan LTE .....	21
Tabel 2.5	Parameter model trafik LTE .....	21
Tabel 2.6	<i>Peak to Average Ratio</i> .....	21
Tabel 2.7	Parameter <i>skema mapper</i> modulasi dan SINR 700 MHz .....	22
Tabel 2.8	<i>Radio overhead</i> .....	23
Tabel 3.1	<i>Link budget</i> LTE .....	26
Tabel 3.2	Data dan sumber yang digunakan dalam penelitian .....	29
Tabel 4.1	Data trafik lalu lintas Tol Cipali .....	33
Tabel 4.2	Perbandingan nilai MSE antar model peramalan .....	34
Tabel 4.3	Tabulasi data Seksi I.....	33
Tabel 4.4	Tabulasi data Seksi II.....	34
Tabel 4.5	Tabulasi data Seksi III .....	34
Tabel 4.6	Tabulasi data Seksi IV .....	35
Tabel 4.7	Tabulasi data Seksi V .....	35
Tabel 4.8	Tabulasi data Seksi VI.....	36
Tabel 4.9	Persamaan kuadratik setiap seksi.....	37
Tabel 4.10	Jumlah kendaraan per bulan tol Cipali tahun 2020 .....	37
Tabel 4.11	Jumlah kendaraan tol Cipali tahun 2020 .....	38
Tabel 4.12	Skenario link budget uplink dan downlink.....	39
Tabel 4.13	Path loss berdasarkan morfologi area.....	39
Tabel 4.14	<i>Jumlah eNodeB berdasarkan coverage dimensioning</i> .....	41
Tabel 4.15	Throughput per session setiap layanan.....	42
Tabel 4.16	<i>Single service throughput dan single user throughput</i> .....	42
Tabel 4.17	<i>Network throughput UL tiap seksi</i> .....	43
Tabel 4.18	<i>Network throughput DL tiap seksi</i> .....	43
Tabel 4.19	<i>Throughput per cell downlink dan uplink</i> .....	44
Tabel 4.20	Jumlah eNodeB Seksi I, II, dan III. ....	45
Tabel 4.21	Jumlah eNodeB Seksi IV, V, dan VI.....	45
Tabel 4.22	Jumlah eNodeB berdasarkan <i>coverage</i> dan <i>capacity</i> .....	46
Tabel 4.23	<i>Radio bearer</i> pada konfigurasi <i>software</i> Atoll .....	47
Tabel 4.24	Spesifikasi antena pada <i>software</i> Atoll .....	47
Tabel 4.25	Parameter frekuensi pada <i>software</i> Atoll .....	47
Tabel 4.26	Parameter frekuensi pada <i>software</i> Atoll .....	47
Tabel 4.27	Koordinat lokasi site di jalur tol Cipali .....	48
Tabel 4.28	Perbandingan C/(I+N) pada jalur tol Cipali .....	52

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Perbedaan arsitektur 2G, 3G dan LTE .....	6
Gambar 2.2	Arsitektur jaringan LTE .....	8
Gambar 2.3	Struktur frame <i>Frequency Division Duplex</i> .....	10
Gambar 2.4	Struktur frame <i>Time Division Duplex</i> .....	11
Gambar 2.5	Alokasi frekuensi LTE FDD .....	12
Gambar 2.6	Perhitungan luas sel berdasarkan jenis antena .....	17
Gambar 3.1	Diagram alir perencanaan LTE .....	25
Gambar 3.2	Diagram alir perencanaan awal .....	28
Gambar 4.1	Peta jalur Tol Cipali berdasarkan pembagian wilayah seksi .....	47
Gambar 4.2	Rekomendasi lokasi eNodeB di Jalur Tol Cipali pada software Atoll .....	48
Gambar 4.3	Prediksi signal level pada software Atoll di jalur Tol Cipali .....	50
Gambar 4.4	Histogram signal level di jalur Tol Cipali.....	50
Gambar 4.5	Reference Signal Receive Power (RSRP) sepanjang jalur tol Cipali .....	51
Gambar 4.6	Grafik Reference Signal Receive Power (RSRP) jalur tol Cipali. ....	51
Gambar 4.7	Simulasi Carrier to Interference Noise sepanjang jalur tol Cipali .....	52
Gambar 4.8	Grafik Carrier to Interference Noise sepanjang jalur tol Cipali.....	53
Gambar 4.9	Simulasi Throughput sepanjang jalur tol Cipali .....	53
Gambar 4.10	Grafik Throughput sepanjang jalur tol Cipali.....	55

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Data Trafik Kendaraan Tiap Pintu Tol Cipali .....	60
Lampiran 2	Data Trafik Kendaraan Tol Cipali Jalur Cikopo – Palimanan .....	61
Lampiran 3	Data Trafik Kendaraan Tol Cipali Jalur Palimanan – Cikopo .....	61
Lampiran 4	Data Trafik Kendaraan Tol Cipali .....	62
Lampiran 5	Proses Simulasi Dengan <i>Software</i> Atoll .....	62
Lampiran 6	Tabulasi Data Kendaraan Jalur Tol Cipali Tiap Seksi .....	65
Lampiran 7	Perhitungan Parameter Persamaan Model Trend Tiap Seksi .....	67
Lampiran 8	Tabulasi Ketepatan Forecasting Trend Linier .....	68
Lampiran 9	Tabulasi Ketepatan Forecasting Trend Kuadratik .....	71
Lampiran 10	Tabulasi Ketepatan Forecasting Trend Eksponensial.....	74



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Pengguna internet di Indonesia saat ini telah menembus angka 82 juta orang, itu berarti sekitar 57% dari total penduduk di Indonesia yang mana sebagian besar mengakses jaringan internet melalui telepon selular. Pada tahun 2014 penetrasi pengguna internet telah mencapai 31% (APJII, 2014). Sementara itu trafik data *mobile* di Asia Tenggara dan Oceania jika dihitung dari tahun 2015 diprediksi akan meningkat sekitar 9 kali lipat pada 2020. 40% jumlah pengguna *mobile* diantaranya telah menggunakan LTE (Ericsson Mobility Report, 2015). Berdasarkan angka tersebut Indonesia menduduki peringkat ke-8 di dunia sebagai pengguna internet terbanyak.

LTE merupakan teknologi berbasis *Internet Protocol* (IP) dengan peningkatan kecepatan dan efisiensi spektrum dibanding teknologi sebelumnya. Spektrum frekuensi LTE yang banyak digunakan saat ini adalah 700, 800, 1800, 2100, dan 2600 MHz. Frekuensi 700 MHz merupakan frekuensi yang paling ideal untuk LTE di Indonesia. Hal ini didasari oleh cakupan yang lebih luas, ketersediaan *bandwidth* yang lebar, serta *propagation loss* yang lebih kecil dibandingkan dengan frekuensi lainnya (Dwi Aryanta, 2012). Penggunaan frekuensi 700 MHz akan menghemat investasi pengembangan jaringan LTE secara nasional karena menggunakan BTS yang lebih sedikit jika dilihat dari sisi cakupan areanya sehingga pengeluaran akan lebih kecil. Selain itu frekuensi 700 MHz juga menawarkan penetrasi sinyal yang baik di dalam gedung, *basement* dan *elevator* (ZTE Corporation, 2013). Di sisi lain, user dapat bergerak dengan kecepatan tinggi dengan menggunakan alat transportasi apapun. Salah satunya adalah kendaraan yang melaju dengan kecepatan tinggi di jalur tol, khususnya di Pulau Jawa. Tentunya para user membutuhkan layanan transfer data saat kendaraan melaju dengan kecepatan tinggi untuk memenuhi kebutuhan komunikasi mereka pada era LTE.

Permasalahannya adalah pada kondisi tertentu, mengacu pada jaringan existing, performansi jaringan seluler pada saat user bergerak dengan kecepatan tinggi saat berada di kendaraan bermotor, sangatlah tidak stabil. Penyebabnya adalah dengan adanya efek dopler dan tidak adanya perancangan jaringan seluler yang dikhususkan untuk pengguna kendaraan



bermotor di jalur tol dan teknologi saat ini yang belum dapat mencapai data rate yang tinggi pada saat mobilitas user dalam kecepatan tinggi. Namun, pada teknologi LTE telah mendukung layanan transfer data kecepatan tinggi.

Perencanaan ini diproyeksikan pada tahun 2020. Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan pengendara kendaraan bermotor yang melintasi jalur tol Cipali, akan terjadi peningkatan trafik data sehingga membutuhkan *bandwidth* yang lebih lebar terutama pada musim arus mudik. Di Indonesia, frekuensi 700 MHz kini masih digunakan untuk siaran televisi analog. Pemerintah sedang melakukan program digitalisasi televisi, yang nantinya akan menghapus televisi analog. Program ini direncanakan akan selesai pada tahun 2018 (Kominfo, 2015). Maka setelah program digitalisasi televisi selesai, frekuensi 700 MHz akan tersedia untuk dialokasikan ke jaringan LTE.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana memprediksi jumlah pengguna LTE di jalur tol Cipali pada tahun 2020 ?
2. Bagaimana menentukan jumlah eNodeB berdasarkan cakupan area dan kapasitas trafik data ?
3. Bagaimana menentukan lokasi penempatan eNodeB yang optimal ?
4. Bagaimana merencanakan jaringan LTE pada frekuensi 700 MHz di jalur tol Cipali menggunakan *software* Atoll ?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar tidak terlalu luas, maka pembahasan skripsi ini akan dibatasi oleh beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Perancangan *macro cell* dimodelkan pada jalur tol Cipali.
2. Perancangan dilakukan dengan memperhatikan penyebaran pengguna data trafik dan meminimalisir *blank spot area*.
3. Perancangan dilakukan pada frekuensi 700 MHz dengan *bandwidth* 20 MHz.
4. Perancangan menggunakan metode *Frequency Division Duplex*.
5. Perencanaan dilakukan dengan asumsi proses *reframing* telah selesai dilakukan.
6. Simulasi perencanaan menggunakan *software* Atoll 3.3.
7. Pengalokasian *neighbouring*, PCI dan frekuensi dilakukan secara otomatis.
8. Faktor *cost* tidak diperhitungkan dalam perencanaan.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Setelah dirumuskan beberapa masalah yang didapatkan, maka penulisan ini bertujuan agar :

- Mahasiswa dapat merencanakan jaringan LTE pada frekuensi 700 MHz di jalur tol Cipali menggunakan *software* Atoll *Radio Planning* yang diproyeksikan untuk pertumbuhan trafik kendaraan pada tahun 2020.
- Mendapatkan jumlah *site* dan atau *cell* yang optimal pada jalur tol Cipali berdasarkan *coverage* dan *capacity*.
- Mendapatkan lokasi penempatan eNodeB dengan tetap memperhatikan kualitas layanan jaringan dari sisi *coverage* dan *capacity*.
- Mengetahui pengaruh dari perencanaan dengan menggunakan metode PCI.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan referensi untuk melihat seberapa baiknya performansi jaringan LTE pada frekuensi 700 MHz pada tahun 2020 di jalur tol Cipali. Sehingga *regulator* diharapkan segera merealisasikan migrasi TV analog ke digital dan *reframing* frekuensi 700 MHz.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang dipergunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini yang terdiri atas pendahuluan, tinjauan pustaka, metode penelitian, hasil dan pembahasan, terakhir penutup. Pembahasan yang tertera pada penulisan ini disusun secara sistematis yang terdiri dari beberapa bab.

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas landasan teori yang bersumber dari buku, jurnal, literatur serta laporan yang dikeluarkan oleh lembaga terkait yang berkaitan dengan penelitian ini.

### BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang proses penelitian seperti diagram alir perencanaan, kerangka solusi masalah, jenis dan cara perolehan data serta variabel dan cara analisis.

#### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil perencanaan LTE yang terdiri dari hasil proyeksi penduduk, perhitungan *dimensioning* untuk menentukan jumlah *site*, pemetaan pada *software* Atoll serta analisa hasil simulasi dan perhitungan.

#### BAB V PENUTUP

Bab ini terdiri dari kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan analisa hasil yang telah diuraikan pada bab sebelumnya.



## BAB II

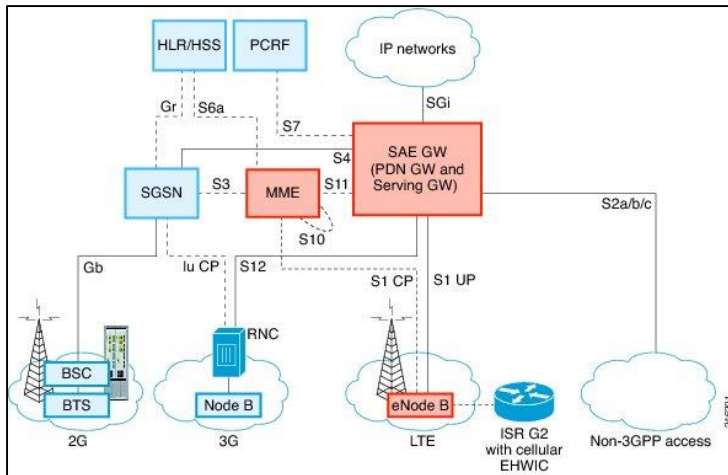
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Long Term Evolution* (LTE)

*Long Term Evolution* (LTE) adalah sebuah nama yang diberikan pada sebuah proyek dari *Third Generation Partnership Project* (3GPP) sebagai standar komunikasi akses data nirkabel tingkat tinggi untuk memperbaiki standar *mobile phone* generasi ke-3 (3G) yaitu UMTS WCDMA. LTE merupakan pengembangan dari teknologi sebelumnya, yaitu UMTS (3G) dan HSPA (3.5G) yang mana LTE disebut sebagai generasi ke-4 (4G). Teknologi UMTS memiliki kecepatan transfer data maksimum 2 Mbps, pada HSPA kecepatan transfer data mencapai 14 Mbps pada sisi *downlink* dan 5,6 Mbps pada sisi *uplink* sedangkan pada LTE, kemampuan dalam memberikan kecepatan dalam hal transfer data dapat mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink* dengan *bandwidth channel* 20 MHz. Selain itu LTE mampu mendukung semua aplikasi yang ada, baik *voice*, data, *video*, maupun IP TV. Kemampuan dan keunggulan dari LTE terhadap teknologi sebelumnya selain dari kecepatannya dalam transfer data tetapi juga karena LTE dapat memberikan *coverage* dan kapasitas dari layanan yang lebih besar, mengurangi biaya dalam operasional, mendukung penggunaan multiple-antena, fleksibel dalam penggunaan *bandwidth* operasinya dan juga dapat terhubung atau terintegrasi dengan teknologi yang sudah ada (Uke Kurniawan, 2012).

##### 2.1.1 Konfigurasi Jaringan LTE

Konfigurasi jaringan *Long Term Evolution* (LTE) *release* 8 sangat terkait dengan evolusi arsitektur 3GPP yang dikenal dengan istilah *System Architecture Evolution* (SAE) yang menghasilkan *Evolved Packet System* (EPS). EPS terdiri atas *Evolved Packet Core* (EPC) dan *Evolved UTRAN* (E-UTRAN). EPC juga dapat terhubung ke jaringan akses radio lain, baik yang menggunakan standar 3GPP maupun non-3GPP. Konfigurasi LTE merupakan pengembangan dari teknologi sebelumnya, yaitu UMTS dan HSPA (Uke Kurniawan, 2013). Perbedaan arsitektur antara LTE dengan 2G dan 3G secara jelas terjadi pada penyederhanaan arsitekturnya yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 dimana fungsi dari NodeB dan RNC dilebur menjadi satu kedalam eNodeB serta terdapat EPC pada *core network*.



Gambar 2.1 Perbedaan arsitektur 2G, 3G dan LTE  
Sumber: cisco.com

Arsitektur LTE memiliki beberapa elemen yaitu UE, E-UTRAN, dan EPC seperti yang tertera pada Gambar 2.2.

### 1. User Equipment

*User equipment* adalah perangkat dalam LTE yang terletak paling ujung dan berdekatan dengan *user*. Fungsi dari UE-LTE hampir sama dengan UE-UMTS, namun UE-LTE dapat mendukung penggunaan modulasi QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM.

### 2. E-UTRAN

Pada E-UTRAN, terdapat *evolved Node B* (eNodeB) yang merupakan *upgrade* dari NodeB pada teknologi sebelumnya. Selain perangkatnya yang berubah, perubahan juga pada bagian *Radio Access Network* (RAN). Jika ditinjau pada teknologi UMTS *release 4* menggunakan kode sebagai pembeda *user* (WCDMA), sedangkan pada LTE tiap *user* dapat dibedakan berdasarkan *resource block*, dimana pada arah *downlink* menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA), dan pada arah *uplink* menggunakan *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA).

eNodeB memiliki fungsi sebagai *transceiver*, bertanggung jawab mengontrol semua yang berhubungan dengan *radio resource* untuk 1 atau beberapa sel, dan dapat mengontrol *handover*. Pada teknologi LTE, proses *handover* hanya dikontrol oleh eNodeB, dimana masing-masing eNodeB saling berhubungan melalui X2 *interface* untuk melakukan prosedur *handover*. Masing-masing eNodeB bisa dikontrol oleh 1 MME.

### 3. Evolved Packet Core Network

*Evolved Packet Core Network* (EPC) merupakan komponen utama dari *System Architecture Evolution* (SAE). SAE adalah arsitektur jaringan utama dalam standar



komunikasi nirkabel 3GPP LTE yang merupakan evolusi dari jaringan GPRS. Berikut ini adalah komponen-komponen dari EPC :

- *Mobility Management Entity (MME)*

MME memiliki fungsionalitas seperti pada MSC pada teknologi sebelumnya. MME dapat mengontrol setiap node pada jaringan akses LTE. Pada saat UE dalam kondisi *idle*, MME bertanggung jawab dalam melakukan prosedur *tracking* dan *paging*. MME juga bertugas memilih SGW yang akan digunakan UE pada saat *initial attach*. Serta memilih SGSN tujuan untuk *handover* dengan jaringan akses 2G atau 3G.

- *Home Subscriber Server (HSS)*

HSS merupakan penggabungan dari fungsi HLR dan AUC sebagai tempat penyimpanan data pelanggan untuk semua data pengguna permanen. HSS juga menyimpan lokasi *user* pada level yang dikunjungi node pengontrol jaringan.

- *Serving Gateway (SGW)*

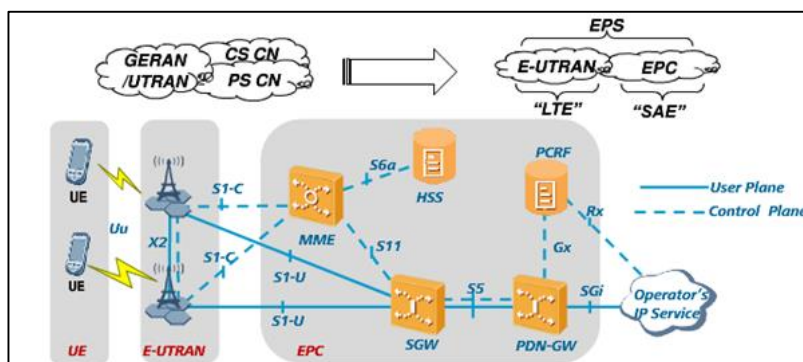
SGW berfungsi untuk *packet routing* dengan menentukan jalur dan meneruskan data yang berupa paket dari setiap *user*, penghubung antara UE dan eNodeB pada saat terjadi *inter handover*, serta *link* penghubung antara jaringan LTE dengan jaringan 3GPP lainnya (2G dan 3G). S-GW merupakan bagian dari infrastruktur jaringan sebagai pusat operasional dan *maintenance*.

- *Packet Data Network Gateway (PDN-GW)*

PGW memiliki fungsi pengalokasian *IP address* untuk *user* dan manajemen QoS. PGW merupakan pusat *link* untuk hubungan antara teknologi LTE dengan teknologi non-3GPP (WiMAX), dan 3GPP2 (CDMA 2000 1X, CDMA EV-DO, dll).

- *Policy and Charging Rules Function (PCRF)*

PCRF berfungsi untuk mengontrol *rating* dan *charging* untuk penghitungan *billing user*, serta membuat keputusan dalam mengontrol QoS pada saat terjadinya hubungan.



Gambar 2.2 Arsitektur jaringan LTE  
Sumber: teknologi-4g-lte.blogspot.com

## 2.2 Perbandingan LTE Dengan Teknologi Sebelumnya

LTE merupakan pengembangan standart teknologi 3GPP, dengan menggunakan skema *multiple access* OFDMA pada *downlink* dan SC-FDMA pada *uplink*. OFDMA digunakan untuk membagi sumber yang ada agar dapat digunakan oleh banyak *user* dengan orthogonalitas antara *user* sehingga mengurangi interferensi dan meningkatkan kapasitas. *Data rates* jaringan WCDMA dibatasi pada lebar saluran 5 MHz. LTE menerobos batasan lebar saluran dengan mengembangkan *bandwidth* yang mencapai 20 MHz. LTE merepresentasikan standar teknologi *wireless* masa depan kelanjutan dari teknologi UMTS yang berevolusi dari arsitektur berbasis *Circuit Switch* (CS) dan *Packet Switch* (PS) menjadi arsitektur berbasis *All-IP*. Secara umum perbedaan LTE dengan 3G terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan LTE dengan teknologi sebelumnya

Parameter	WCDMA (UMTS)	HSPA	HSPA+	LTE
Multiple Access	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA (downlink) SC-FDMA (uplink)
Core Network	PSTN & Some IP Networks	PSTN & Some IP Networks	PSTN & Some IP Networks	Completely IP Based
Switching	Circuit Switch / Packet Switch	Circuit Switch / Packet Switch	Circuit Switch / Packet Switch	All Packet Switch
Arsitektur	NodeB & RNC	NodeB & RNC	NodeB & RNC	eNodeB
Peak Data Rate	384 Kbps	14 Mbps	42 Mbps	100 Mbps
Latency - RTT	150 ms	100 ms	50 ms	10 ms

ENodeB merupakan *radio base station* yang melakukan kontrol di sisi radio akses ke jaringan *core*. Berbeda dari teknologi sebelumnya yang memisahkan antara NodeB dan RNC, pada sistem LTE E-UTRAN hanya terdiri dari satu komponen yaitu *Evolved NodeB* (eNodeB). Pada eNodeB LTE memungkinkan dilakukan *protocol control plane* dan *air interface user plane* secara bersamaan dalam satu unit. Sehingga perbedaan tersebut menghilangkan hirarki pada sisi *radio network*. Jika pada arsitektur UTRAN sebuah NodeB hanya memiliki konektifitas dengan RNC, sehingga apabila NodeB ingin berkomunikasi dengan NodeB lainnya harus melewati RNC. Hal tersebut menimbulkan *delay time*. Namun pada LTE dapat diminimalisir karena eNodeB dapat berhubungan dengan eNodeB lainnya.

ENodeB memiliki dua tugas penting yakni yang pertama sebagai *radio transmitter* dan *receiver*. Dan yang kedua adalah mengontrol *low-level operation* semua *mobile user* dengan cara mengirimkan suatu sinyal tertentu berupa pesan seperti pada proses *handover*. Pada proses kedua ini eNodeB memegang prinsip seperti NodeB pada sistem UMTS.



### 2.3 Mode Duplexing LTE

Akses radio 3GPP untuk UMTS dan sistem LTE dirancang untuk beroperasi dalam dua mode operasi utama yaitu FDD (*Frequency Division Duplex*) dan TDD (*Time Division Duplex*). FDD adalah mode yang umum digunakan di seluruh dunia untuk UMTS dan LTE. Alokasi spektrum juga terikat dengan pilihan FDD atau TDD. Misalnya, operator WiMAX telah memanfaatkan spektrum WiMAX untuk berinvestasi dalam LTE TDD daripada FDD. Namun, dengan ketersediaan perangkat serta kesederhanaan penyebaran, FDD masih menjadi pilihan utama di seluruh dunia.

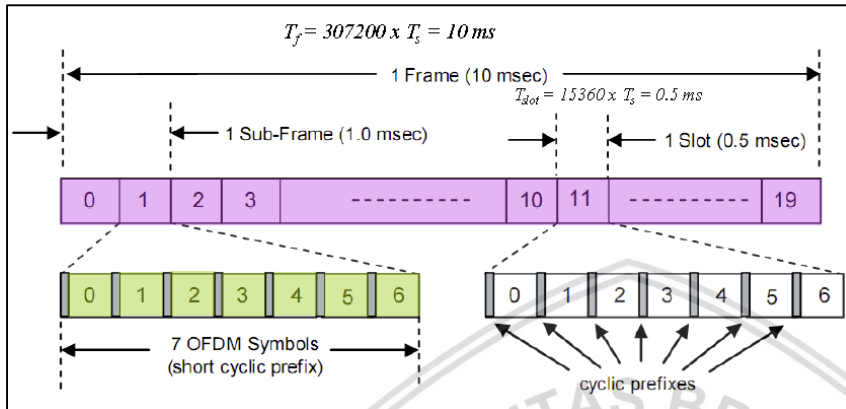
Pada FDD, penggunaan kanal dibedakan berdasarkan frekuensi. Sedangkan pada mode TDD, penggunaan kanal dibedakan berdasarkan waktu. Perbedaan mode LTE TDD dengan LTE FDD tertera pada Tabel 2.2 antara lain dari kebutuhan *duplexer* di sisi *hardware*, interferensi antar slot, hubungan antar kanal serta kebutuhan *guard band*.

Tabel 2.2 Perbandingan LTE TDD dan LTE FDD

Parameter	LTE TDD	LTE FDD
<i>Hardware</i>	Tidak ada <i>duplexer</i> pada <i>receiver</i> dan <i>transmitter</i>	Membutuhkan <i>duplexer</i> untuk memisahkan frekuensi <i>downlink</i> dan <i>uplink</i>
Interferensi antar slot	Membutuhkan sinkronisasi antar <i>base station</i> . Interferensi dapat terjadi antara <i>base station</i> yang bersebelahan	Tidak ada
Hubungan antar kanal	Kanal propagasi sama pada kedua arah digunakan untuk <i>channel</i> estimasi	Karakteristik kanal berbeda pada kedua arah karena menggunakan frekuensi yang berbeda
<i>Guard band</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membutuhkan <i>guard band</i> untuk menjaga agar tidak <i>overlap</i> antara <i>downlink</i> dan <i>uplink</i></li> <li>• Sel yang besar akan membutuhkan <i>guard band</i> yang besar pula karena adanya perbedaan <i>timing</i> antara <i>user</i> yang jauh dan <i>user</i> yang dekat.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membutuhkan <i>guard band</i> untuk menjaga ada pembatas antara <i>uplink</i> dan <i>downlink</i></li> <li>• <i>Guard band</i> yang lebar tidak berpengaruh pada efisiensi spektrum</li> </ul>

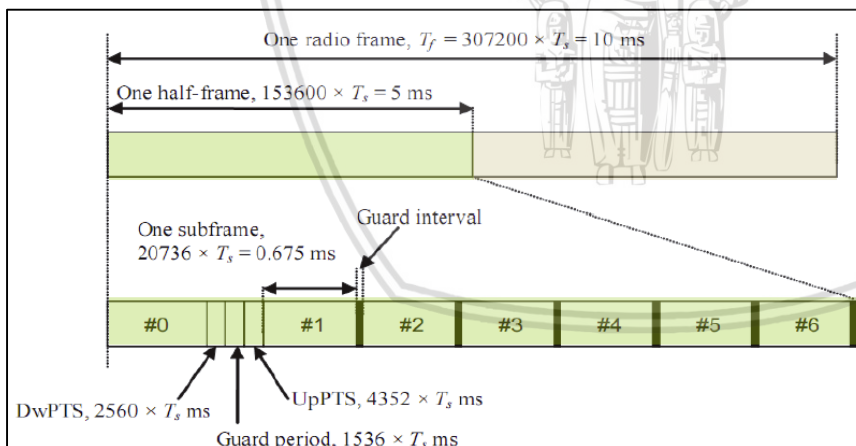
Sumber: Baihaqi (2015:11)

Struktur frame pada mode FDD memiliki panjang *frame radio* 10 ms yang dibagi menjadi 20 *slot* dimana tiap *slot* memiliki durasi waktu 0,5 ms. Pada Gambar 2.3 menjelaskan tentang struktur frame FDD, dimana terdapat TTI (*Transmission Time Interval*) yang terdiri dari 2 slot berturut-turut atau yang sering disebut dengan satu *subframe*. Sehingga satu *frame radio* berisi 10 *subframe*.



Gambar 2.3 Struktur frame *Frequency Division Duplex*  
Sumber: Floatway Learning Center (2014:46)

Sedangkan struktur frame pada mode TDD terdapat 7 kemungkinan rasio perbandingan antara *uplink* dan *downlink* dengan panjang durasi framenya 10 ms dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur frame *Time Division Duplex*  
Sumber: Floatway Learning Center (2014:49)

## 2.4 Pemilihan Frekuensi 700 MHz untuk Penggelaran LTE

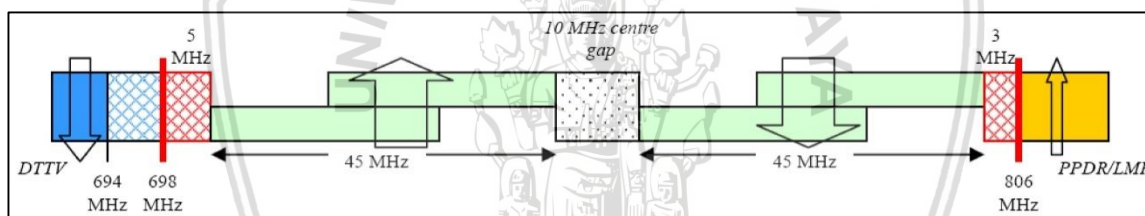
Penggunaan band frekuensi potensial di Indonesia saat ini cenderung penuh dan sesak, hal ini dikarenakan banyaknya penyelenggara telekomunikasi dan teknologi lain yang menggunakan alokasi frekuensi tersebut untuk menggelar jaringannya. Untuk komunikasi nirkabel, semakin rendah nilai frekuensi maka cakupan sel cenderung lebih luas. Band

frekuensi 700 MHz menjadi salah satu kandidat di Indonesia untuk penggelaran jaringan. Saat ini frekuensi 700 MHz digunakan untuk *Terrestrial TV broadcasting* yang berada pada frekuensi 478-806 MHz (Uke Kurniawan, 2012).

#### 2.4.1 Standar Frekuensi Berdasarkan Asia-Pacific Telecommunity (APT)

Berdasarkan keputusan ITU-R WRC07 untuk wilayah Asia Pasifik berada pada *region* 3, harus menggunakan *range* 694-806 MHz untuk *mobile broadband* (LTE/Wimax). Frekuensi LTE FDD berdasarkan APT-AWF14, pada Gambar 2.5 terlihat alokasi *bandwidth* yang dapat digunakan adalah 45 MHz dengan *guard band* 5 MHz pada 698-803 MHz, dan terdapat *center gap* sebesar 10 MHz. Sedangkan spektrum LTE TDD dapat menggunakan keseluruhan dari 694-806 MHz yaitu 108 MHz yang digunakan untuk *uplink* dan *downlink* secara bersamaan.

*Guard band* pada rentang 694-698 MHz berguna untuk memastikan tidak terjadi interferensi dari layanan televisi pada *band* yang berdekatan. Sedangkan *guard band* pada rentang 803-806 MHz berguna untuk menghindari interferensi dari layanan *radio trunking*.



Gambar 2.5 Alokasi frekuensi LTE FDD

Sumber: Fundamental Teknologi Seluler LTE (2012:137)

#### 2.4.2 Rekomendasi Frekuensi LTE di Indonesia

Terdapat dua *band* rekomendasi dalam penambahan frekuensi LTE di Indonesia, yaitu frekuensi 700 MHz dan 2600 MHz. Setiap *band* frekuensi memiliki kelebihan dan kekurangan dalam pengimplementasiannya.

Pada band frekuensi 700 MHz memiliki kelebihan *coverage* yang lebih luas karena frekuensi yang rendah, sisa *bandwidth* setelah migrasi TV digital cukup besar, penetrasi yang baik pada *indoor*, mendorong efisiensi frekuensi. Sedangkan kelebihan *band* frekuensi 2600 MHz antara lain tingkat interferensi yang lebih baik karena peralatan rumah tangga tidak da yang menggunakan frekuensi di atas 1800 MHz serta ketersediaan *bandwidth* yang jauh lebih lebar dari 700 MHz.

Namun kedua frekuensi tersebut juga memiliki kekurangan. Pada frekuensi 700 MHz memiliki kekurangan waktu pengimplementasian yang bergantung dari digitalisasi TV

siaran serta berpotensi terjadi perselisihan dengan industri penyiaran. Sedangkan kekurangan frekuensi 2600 MHz antara lain redaman yang cukup besar dan frekuensi tersebut masih digunakan untuk layanan *broadcasting service satellite* (BSS) oleh MNC Skyvision melalui satelit Indostar II. Sehingga penggunaan frekuensi 2600 MHz masih harus menunggu sampai umur satelit Indostar II habis.

### 2.4.3 Ketersediaan Perangkat Pendukung

Pengimplementasian frekuensi yang akan digunakan juga harus memperhatikan ketersediaan perangkat pendukung yang ada di pasar. Frekuensi 700 MHz di daerah Asia Pasifik ditetapkan menggunakan band 28. Berdasarkan regulasi tersebut maka perangkat LTE yang ada di pasar harus mendukung band frekuensi tersebut agar penerapan teknologi LTE pada frekuensi 700 MHz dapat berjalan lancar.

Meskipun frekuensi 700 MHz belum diterapkan di Indonesia saat ini, perangkat yang telah mendukung band frekuensi tersebut ternyata sudah banyak dijual di pasaran. Beberapa manufacture yang telah mendukung band tersebut antara lain Samsung, LG, Sony, Apple, Xiaomi, Asus, Lenovo, Oppo dan banyak lainnya. Perangkat yang telah mendukung band 28 di Indonesia dapat dilihat pada Lampiran 1.

### 2.5 Perencanaan Jaringan Seluler

Perencanaan jaringan seluler meliputi beberapa sudut pandang, yakni dari sudut pandang *coverage dimensioning* dan *capacity dimensioning*. *Coverage planning* merupakan langkah perencanaan jaringan dari spesifikasi alat dan parameter *input* jaringan secara teknik, diantaranya dengan mempertimbangkan daya pancar, daya terima, *path loss*, sensitivitas alat, dan lain-lain. Namun untuk *capacity planning* mempunyai parameter *input* berupa trafik yang dibutuhkan oleh *user* misal, macam-macam layanan jaringan, jumlah pengguna layanan, serta *bandwidth* yang dibutuhkan dari masing-masing layanan tersebut. Faktor *finance*, merupakan salah satu faktor pengendali dari kedua *planning* sebelumnya untuk mendapatkan nilai *trade off* yang dikehendaki oleh pihak operator. Dalam perencanaan ini, tidak digunakan faktor analisa dari segi *finance* namun digunakan parameter level daya rata-rata, SINR rata-rata, jumlah sel, serta luas area yang tercakup diatas nilai *threshold*.

### 2.5.1 Morfologi Area

Perencanaan ini juga melihat jenis morfologi area yang dimiliki setiap kecamatan guna menganalisa redaman perambatan sinyal saat proses transmisi pada suatu daerah. Terdapat 4 tipe daerah sebagai berikut (Lee, 1993:198) :

#### 1. Daerah Dense Urban

Wilayah ini biasanya ditandai dengan banyaknya area bisnis yang padat, bangunan bangunan tinggi (gedung pencakar langit), dan mobilitasnya tinggi. Wilayah ini biasanya disebut dengan metropolitan atau megapolitan.

#### 2. Daerah Urban

Wilayah urban biasanya ditandai dengan banyaknya gedung-gedung tinggi mencapai 20 meter, dengan jalan-jalan yang sempit diantaranya, dan terdapat sedikit pohon (hampir tidak ada pepohonan). Pada daerah urban, sinyal dari eNodeB ke MS banyak mendapat halangan oleh lingkungan sekitarnya. Akibatnya, *coverage area* pada daerah urban cenderung lebih kecil dibanding daerah suburban maupun rural.

#### 3. Daerah Suburban

Daerah ini merupakan peralihan antara urban dan rural. Lingkungan daerah suburban biasanya ditandai dengan deretan rumah penduduk yang berdampingan dengan ketinggian rata-rata 10-20 meter. Di daerah pemukiman ini banyak terdapat pepohonan yang tinggi.

#### 4. Daerah Rural

Daerah rural adalah daerah dimana sinyal dapat merambat dari eNodeB ke MS tanpa banyak halangan. *Coverage area* lebih besar jika dibandingkan dengan suburban, urban maupun dense urban. Topologi daerah ini biasanya merupakan daerah terbuka dengan ketinggian kurang dari 10 meter.

## 2.6 Coverage Dimensioning

Dalam perhitungan *coverage dimensioning* pada Subbab 2.6.1 sampai 2.6.5 menggunakan rumus dari modul Huawei Technologies (2010) yang berkaitan dengan LTE *radio network coverage dimensioning*.

### 2.6.1 Uplink Calculation

Arah *uplink Power Receiver* digambarkan sebagai *Receiver Sensitivity* (RS) dari UE arah *uplink*:

$$RSeNodeB = SINR + TNeNodeB + NFeNodeB \quad (2-1)$$



dimana :

$RSeNodeB$  = Receiver Sensitivity (dBm)

$NFeNodeB$  = Noise Figure eNodeB (dB)

$TNeNodeB$  = Thermal Noise per sub-carrier (dBm)

$SINR$  = Required Signal Interference Noise Ratio (dB)

Sehingga akan didapatkan persamaan *Minimum Signal Reception Strenght* (MSRS) uplink adalah sebagai berikut:

$$MSRS = RSeNodeB + Lcable + IM - GR \quad (2-2)$$

dimana :

$MSRS$  = Minimum Signal Reception Strenght (dBm)

$RSeNodeB$  = Receiver Sensitivity eNodeB (dBm)

$Lcable$  = Loss cable receiver (dB)

$IM$  = Interference Margin (dB)

$GR$  = Gain antenna receiver (dB)

Kemudian didapat persamaan MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*) uplink adalah:

$$MAPL_{uplink} = EIRP_{subcarrier} - MSRS - PL - SF \quad (2-3)$$

dimana :

$MAPL_{uplink}$  = Maximum Allowable Path Loss uplink (dB)

$EIRP_{subcarrier}$  = Equivalent Isotropic Radiated Power subcarrier (dBm)

$MSRS$  = Minimum signal reception strenght (dBm)

$PL$  = Penetration loss (dB)

$SF$  = Shadow fading margin (dB)

## 2.6.2 Downlink Calculation

Persamaan EIRP (*Equivalent Isotropic Radiated Power*) subcarrier arah downlink adalah:

$$EIRP_{subcarrier} = P_{subcarrier} + GT - LT_{cable} \quad (2-4)$$

dimana :

$P_{subcarrier}$  = Subcarrier power transmit (dBm)

$GT$  = Gain antena transmitter (dBi)

$LT_{cable}$  = Loss cable transmitter (dB)

Sedangkan untuk persamaan *Receiver Sensitivity* (SR) arah *downlink* adalah sebagai berikut:

$$RS_{ue} = TN + NF_{ue} + SINR \quad (2-5)$$

dimana :

$RS_{ue}$  = *Receiver Sensitivity* (dBm)

$TN$  = *Thermal Noise per subcarrier* (dBm)

$NF_{ue}$  = *Noise Figure UE* (dB)

$SINR$  = *Required Signal Interference Noise Ratio* (dB)

Sehingga akan didapatkan persamaan *Minimum Signal Reception Strenght* (MSRS) *downlink* adalah sebagai berikut:

$$MSRS = RS_{ue} + L_{cable} + IM - GR \quad (2-6)$$

dimana :

$MSRS$  = *Minimum Signal Reception Strenght* (dBm)

$RS_{ue}$  = *Receiver Sensitivity UE* (dBm)

$LR_{body}$  = *Loss body receiver* (dB)

$IM$  = *Interference Margin* (dB)

$GR$  = *Gain antenna receiver* (dB)

Kemudian didapat persamaan MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*) untuk arah *downlink* adalah :

$$MAPL_{downlink} = EIRP_{subcarrier} - MSRS - PL - SF \quad (2-7)$$

dimana :

$MAPL_{downlink}$  = *Maximum Allowable Path Loss downlink* (dB)

$EIRP_{subcarrier}$  = *Equivalent Isotropic Radiated Power subcarrier* (dBm)

$MSRS$  = *Minimum signal reception strenght* (dBm)

$PL$  = *Penetration loss* (dB)

$SF$  = *Shadow fading margin* (dB)

### 2.6.3 Perhitungan Jari-Jari Sel

Perencanaan LTE frekuensi 700 MHz ini menggunakan model propagasi Okumura-Hatta yang bekerja pada rentang frekuensi 150 MHz sampai 1500 MHz. Persamaan model Okumura-Hatta adalah sebagai berikut :

a. Daerah *Urban*

$$MAPL_{urban} = C_1 + C_2 \log(f) - 13,82 \log(h_{BTS}) - a(h_{ms}) + [44,9 - 6,55 \log(h_{BTS})] \log(r) \quad (2-8)$$



dimana :

$f$  = Frekuensi (MHz)

$h_{BTS}$  = Tinggi antenna BTS (m)

$h_{ms}$  = Tinggi antenna *Mobile Station* (m)

$r$  = Jarak BTS dengan *Mobile Station*

$C_1$  = 69,55 untuk  $400 \leq f \leq 1500$  MHz ; 46,3 untuk  $1500 \leq f \leq 2000$  MHz

$C_2$  = 26,16 untuk  $400 \leq f \leq 1500$  MHz ; 33,9 untuk  $1500 \leq f \leq 2000$  MHz

$a(h_{ms})$  = Faktor koreksi ketinggian antenna *Mobile Station* (m)

$a(h_{ms}) = 3,2 \{\log[11,75 (h_{ms})]\}^2 - 4,97$  (untuk *large city*)

$a(h_{ms}) = [1,1 \log(f) - 0,7] h_{ms} - [1,56 \log(f) - 0,8]$  (untuk *small city*)

b. Daerah *Dense Urban*

$$MAPL_{Dense\_Urban} = C_1 + C_2 \log(f) - 13,82 \log(h_{BTS}) - a(h_{ms}) + [44,9 - 6,55 \log(h_{BTS})] \log(r) + C_M \quad (2-9)$$

dimana :

$C_M$  = 3 dB

$a(h_{ms}) = 3,2 \{\log[11,75 (h_{ms})]\}^2 - 4,97$

c. Daerah *Sub Urban*

$$MAPL_{SubUrban} = MAPL_{Urban} - 2 [\log\left(\frac{f}{28}\right)]^2 - 5,4 \quad (2-10)$$

d. Daerah *Rural Terbuka*

$$MAPL_{RuralTerbuka} = MAPL_{Urban} - 4,78 [\log(f)]^2 + 18,33 \log(f) - 5,4 \quad (2-11)$$

## 2.6.4 Perhitungan Luas Sel

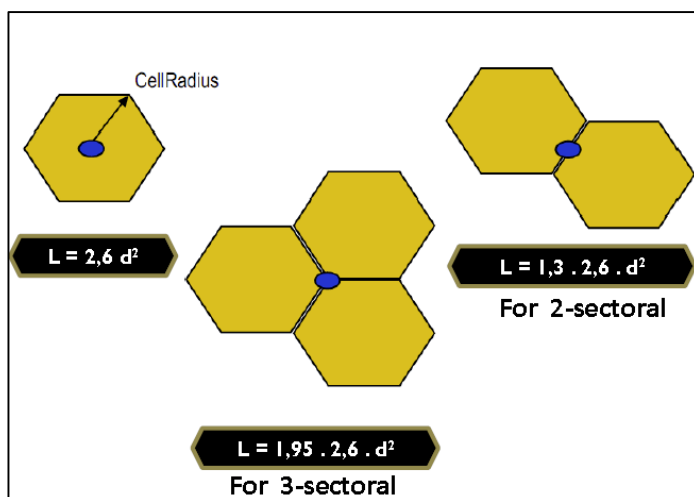
Pada perencanaan ini menggunakan antenna *2-sectoral* guna meminimalisir *blank spot area*. Sehingga dapat mengoptimalkan jaringan LTE pada seluruh area jalur tol Cipali. Luas sel dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-12 :

$$L_{cell} = 1,3 \times 2,6 \times d^2 \quad (\text{untuk antenna } 2\text{-sectoral}) \quad (2-12)$$

dimana :

$L_{cell}$  = Luas sel (km<sup>2</sup>)

$d$  = Jari-jari sel (km)



Gambar 2.6 Perhitungan luas sel berdasarkan jenis antena  
Sumber: Floatway Learning Center (2014:99)

### 2.6.5 Perhitungan Jumlah Site

Penentuan jumlah sel dihitung dengan membagi luas area jalur tol Cipali dengan besar luas sel. Berdasarkan situs Wikipedia, panjang jalur tol Cipali adalah 116 km. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\sum LTE_{eNodeB} = \frac{L_{Area}}{L_{Cell}} \quad (2-13)$$

dimana :

$\sum LTE_{eNodeB}$  = Jumlah eNodeB

$L_{Area}$  = Luas Area

$L_{Cell}$  = Luas Sel

## 2.7 Prediksi Jumlah Pengguna LTE

### 2.7.1 Metode Prediksi Jumlah Kendaraan

Model ekstrapolasi trend secara sederhana menggunakan trend kendaraan masa yang lalu untuk memperkirakan jumlah kendaraan masa yang akan datang. Metode ini adalah metode yang mudah digunakan dalam rangka proyeksi kendaraan. Selain itu, metode ini juga digunakan untuk menghitung tingkat dan rasio pada masa yang akan datang berdasarkan tingkat dan ratio pada masa yang lalu. Model ekstrapolasi trend yang banyak digunakan adalah model linear, geometric dan parabolic. Asumsi dasar dari model linear, geometric dan parabolik adalah pertumbuhan atau penurunan akan berlanjut tanpa batas.

#### a. Model Linear (Aritmethic)

Model linear menurut Klosterman (1990) adalah teknik proyeksi yang paling sederhana dari seluruh model trend. Model ini menggunakan persamaan derajat pertama (*first degree*

*equation*). Berdasarkan hal tersebut, kendaraan diproyeksikan sebagai fungsi dari waktu, dengan persamaan:

$$Y_t = \alpha + bt \quad (2-14)$$

dimana :

$Y_t$  = Kendaraan pada tahun proyeksi  $t$

$\alpha$  = Kendaraan pada tahun dasar

$b$  = Rata-rata pertumbuhan kendaraan

$t$  = Selisih tahun proyeksi dengan tahun dasar

#### b. Model Eksponensial (Geometrik)

Asumsi dalam model ini adalah kendaraan akan bertambah atau berkurang pada suatu tingkat pertumbuhan (persentase) yang tetap. Misalnya, jika  $Y_{t+1}$  dan  $Y_t$  adalah jumlah kendaraan dalam tahun yang berurutan, maka kendaraan akan bertambah atau berkurang pada tingkat pertumbuhan yang tetap (yaitu sebesar  $Y_{t+1}/Y_t$ ) dari waktu ke waktu. Menurut Klosterman (1990), proyeksi dengan tingkat pertumbuhan yang tetap ini umumnya dapat diterapkan pada wilayah, dimana pada tahun-tahun awal observasi pertambahan absolut kendaraannya sedikit dan menjadi semakin banyak pada tahun-tahun akhir. Model eksponensial memiliki persamaan umum:

$$Y_t = \alpha \cdot b^t \quad (2-15)$$

Persamaan di atas dapat ditransformasi kedalam bentuk linear melalui aplikasi logaritma, menjadi sebagai berikut:

$$\log Y_t = \log \alpha + t \cdot \log b \quad (2-16)$$

#### c. Model Parabolik (Kuadratik)

Model parabolik seperti model geometric berasumsi bahwa kendaraan suatu daerah tidak tumbuh dalam bentuk linear. Namun, tidak seperti model geometrik (yang berasumsi tingkat pertumbuhan konstan dari waktu ke waktu), pada model parabolik tingkat pertumbuhan kendaraan dimungkinkan untuk meningkat atau menurun. Model ini menggunakan persamaan derajat kedua yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$Y_t = \alpha + bt + ct^2 \quad (2-17)$$

Model parabolik memiliki dua koefisien yaitu  $b$  dan  $c$ .  $b$  adalah koefisien linear ( $t$ ) yang menunjukkan pertumbuhan konstan, dan  $c$  adalah koefisien non-linear ( $t^2$ ) yang menyebabkan perubahan tingkat pertumbuhan. Tanda positif atau negatif pada  $b$  dan  $c$

bervariasi tergantung pada apakah tingkat pertumbuhan tersebut akan meningkat atau menurun. Berdasarkan variasi pada tanda  $b$  dan  $c$ , model akan menghasilkan empat skenario. Skenario tersebut dapat terjadi dengan pertambahan yang semakin meningkat atau menurun, keadaan jumlah kendaraan serta kondisi kurva yang terjadi. Skenario tersebut dijelaskan pada Tabel 2.3 mengenai efek pertumbuhan kendaraan terhadap variasi  $b$  dan  $c$ .

Tabel 2.3 Efek pertumbuhan kendaraan terhadap variasi tanda  $b$  dan  $c$

$b$	$c$	Efek terhadap Pertumbuhan Kendaraan
+	+	Pertambahan yang semakin meningkat Kendaraan bertambah Kurva cekung ke atas ( <i>concave upward</i> )
+	-	Pertambahan yang semakin berkurang Kendaraan berkurang Kurva cekung ke bawah ( <i>concave downward</i> )
-	+	Pertambahan yang semakin berkurang Kendaraan bertambah Kurva cekung ke atas ( <i>concave upward</i> )
-	-	Pertambahan yang semakin meningkat Kendaraan berkurang Kurva cekung ke bawah ( <i>concave downward</i> )

Sumber: Isserman (1977:247)

## 2.8 Capacity Dimensioning

Perhitungan *capacity dimensioning* pada Subbab 2.8.1 sampai 2.8.3 berikut menggunakan persamaan rumus serta contoh model trafik layanan dari modul Huawei Technologies (2010) yang berkaitan dengan *LTE Radio Network Capacity Dimensioning*.

### 2.8.1 Trafik dan Model Layanan

Penentuan parameter dalam trafik dan model layanan yang digunakan dalam LTE untuk dapat memaksimalkan *throughput* yang ingin dicapai.

$$\frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} (\text{Kbit}) = \text{PPP Session Time (s)} \times \text{PPP Session Duty Ratio} \\ \times \text{Bearer Rate (kbps)} \times [1/(1 - \text{BLER})] \quad (2-18)$$

dimana :

*Session Time* = Durasi setiap layanan

*BLER* = Toleransi *block error rate*

*Bearer rate* = *Application bit rate*

Parameter model layanan LTE mengacu pada layanan yang biasa digunakan oleh pengguna dalam mengakses data. Parameternya antara lain VoIP, *video phone*, *video conference real time gaming*, *streaming media*, *email* dll. Kemudian disertai dengan parameter model trafik yang nilainya ditentukan oleh *operator* dan *vendor* dengan pertimbangan pengembangan layanan dan strategi pemasaran.

Penentuan parameter model layanan dan trafik digunakan untuk menentukan *single user throughput* yang merupakan kecepatan minimal yang diterima oleh seorang pengguna dalam jam sibuk. Dengan berdasarkan pengguna yang menempati tipe daerah tertentu. Pada perencanaan ini besarnya nilai model layanan dan trafik berdasarkan dari contoh parameter pada modul Huawei Technologies dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan 2.5

Tabel 2.4 Parameter model layanan LTE

Traffic Parameter	UL				DL			
	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER
VoIP	26,9	80	0,6	10%	26,9	80	0,6	10%
Video Phone	62,53	70	1	10%	62,53	70	1	10%
Video Convergence	62,53	1800	1	10%	62,53	1800	1	10%
Real Time Gaming	31,26	1800	0,2	10%	125,06	1800	0,4	10%
Streaming Media	31,26	3600	0,05	10%	250,11	3600	0,95	10%
IMS Signaling	15,63	7	0,2	10%	15,63	7	0,2	10%
Web Browsing	62,53	1800	0,05	10%	250,11	1800	0,05	10%
File Transfer	140,69	600	1	10%	750,34	600	1	10%
Email	140,69	50	1	10%	750,34	15	1	10%
P2P File Sharing	250,11	1200	1	10%	750,34	1200	1	10%

Sumber: Huawei Technologies (2010:19)

Tabel 2.5 Parameter model trafik LTE

Traffic Parameter	Dense Urban		Urban		Sub Urban		Rural	
	Penetr. Ratio	BHSA	Penetr. Ratio	BHSA	Penetr. Ratio	BHSA	Penetr. Ratio	BHSA
VoIP	100%	1,4	100%	1,3	50%	1	50%	0,9
Video Phone	20%	0,2	20%	0,16	10%	0,1	5%	0,05
Video Convergence	20%	0,2	15%	0,15	10%	0,1	5%	0,05
Real Time Gaming	30%	0,2	20%	0,2	10%	0,1	5%	0,1
Streaming Media	15%	0,2	15%	0,15	5%	0,1	5%	0,1
IMS Signaling	40%	5	30%	4	25%	3	20%	3
Web Browsing	100%	0,6	100%	0,4	40%	0,3	30%	0,2
File Transfer	20%	0,3	20%	0,2	20%	0,2	10%	0,2
Email	10%	0,4	10%	0,3	10%	0,2	5%	0,1
P2P File Sharing	20%	0,2	20%	0,3	20%	0,2	5%	0,1

Sumber: Huawei Technologies (2010:21)

. Nilai tersebut akan mengalami perbedaan tergantung dari morfologi daerahnya. Daerah *dense urban* memiliki penetrasi rata-rata tertinggi. Perbandingan nilai penetrasi terhadap morfologi wilayahnya tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 *Peak to Average Ratio*

Morphology	Dense Urban	Urban	Sub Urban	Rural
Peak To Average Ratio	40%	20%	10%	0%

Sumber: Huawei Technologies (2010:23)

$$Single\ Service\ Throughput = \left( \frac{Throughput}{Session} \right) \times BHSA \times PR \times \frac{1}{1+PAR}$$

$$Single\ User\ Throughput = \frac{\left( \sum \left( \frac{Throughput}{Session} \right) \right)}{3600} \quad (2-19)$$

dimana :

BHSA = Service attempt in busy hour

PR (Penetration rate) = Penetrasi jaringan tiap daerah

PAR (Peak to Average Ratio) = Penetrasi rata-rata tiap daerah

3600 = 1 jam (3600 detik)

### 2.8.2 Kapasitas Sel Downlink dan Uplink

Penentuan nilai rata-rata *throughput* sel pada DL dan UL disesuaikan dengan jenis modulasi untuk *code bit*, *code rate*, SINR, dan SINR *probability*. Tabel 2.7 menunjukkan besarnya nilai *code bit*, *code rate*, SINR, dan SINR *probability* berdasarkan modulasinya.



Tabel 2.7 Parameter skema mapper modulasi dan SINR 700 MHz

Mapper	M	MCS	SINR	SINR Probability
QPSK 1/3	2	0,33	-0,75	0,8
QPSK 1/2	2	0,5	1,5	0,5
QPSK 2/3	2	0,67	3,5	0,25
16 QAM 1/2	4	0,5	7	0,17
16 QAM 2/3	4	0,67	9,5	0,15
16 QAM 4/5	4	0,8	10,5	0,1
64 QAM 1/2	6	0,5	11,5	0,1
64 QAM 2/3	6	0,67	> 14,7	0,05

Sumber: Abdul Basyit (2009:42)

SINR *probability* yaitu presentasi kemungkinan sebaran SINR yang identik dengan MCS yang bersangkutan. SINR *probability* diperoleh dari perbandingan luas wilayah cakupan masing-masing MCS.

Perhitungan kapasitas sel dengan arah *downlink*:

$$DL\ MAC\ layer\ Capacity + CRC = (168 - 36 - 12) \times (Code\ bits) \times Nrb \times (Code\ rate) \times C \times 1000 \quad (2-20)$$

Sedangkan kapasitas sel dengan arah *uplink* adalah sebagai berikut:

$$UL\ MAC\ layer\ Capacity + CRC = (168 - 24) \times (Code\ bits) \times Nrb \times (Code\ rate) \times C \times 1000 \quad (2-21)$$

Besarnya kapasitas sel terhadap nilai SINR *probability*:

$$DL\ or\ UL\ Cell\ Average = DL\ or\ UL\ MAC\ layer\ through. \times SINR\ Prob. \quad (2-22)$$

dimana:

$$CRC = 24$$

$$168 = \text{jumlah RE dalam 1 ms}$$

$$36 = \text{jumlah control channel RE dalam 1 ms}$$

$$12 = \text{jumlah sinyal referensi RE dalam 1 ms}$$

Code bits = bit termulasi

Code rate = *channel coding rate*

$$Nrb = \text{jumlah RB}$$

$$C = \text{MIMO TRX}$$

$$24(\text{uplink}) = \text{jumlah RS RE dalam 1 ms}$$



Sehingga untuk mendapatkan *throughput* tiap sel dalam level IP *layer* maka akan dikalikan dengan parameter pada *protocol layer* yang nilainya tertera pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 *Radio Overhead*

Protocol Layer	Average Packet Size (Byte)		Relative Efficiency (IP-MAC)	Initial
IP	300		-	
PDCP	302		$300/302 = 0,993377483$	a
RLC	304		$302/304 = 0,993421053$	b
MAC	306		$304/306 = 0,993464052$	c
PHY	-		-	

Sumber: Huawei Technologies (2010:37)

$$\frac{\text{Throughput}}{\text{Cell type Area}} = (\text{DL or UL}) \text{ Cell Average } x a x b x c \quad (2-23)$$

### 2.8.3 Perhitungan Jumlah Site

Berdasarkan kapasitas suatu sel, akan dilakukan perhitungan jumlah *site* yang dibutuhkan. Sebelum menentukan total *site*, maka diperhitungkan dahulu *throughput* yang dihasilkan oleh jaringan pada *downlink* dan *uplink*. Kemudian didapatkan jumlah pengguna tiap sel. Persamaan *uplink* dan *downlink network throughput* :

$$\begin{aligned} \text{UL/DL Network Throghput} &= (\text{UL/DL Single User Throughput}) \\ &\quad x (\text{Total Target User}) \end{aligned} \quad (2-24)$$

$$\text{Throughput per km}^2 = \text{Single User Throughput } x \text{ User per km}^2 \quad (2-25)$$

$$\text{Number users per cell} = \frac{\text{Total Target Users}}{\text{Total site } x 3 \text{ sectors}} \quad (2-26)$$

Persamaan kapasitas *site downlink* dan *uplink*:

$$\text{DL/UL Site Capacity} = (\text{DL/UL Cell Capacity}) x (\text{Cell Sectors}) \quad (2-27)$$

dimana :

Sektor sel = 2 sektor per *site*

Persamaan jumlah *site* yang dibutuhkan dalam *downlink* dan *uplink*:

$$\text{Number of site DL/UL} = \frac{\text{DL/UL Network Throughput}}{\text{DL/UL Site Capacity}} \quad (2-28)$$

$$\text{Cell coverage} = \frac{\text{Area wide}}{\text{Number of cell}} \quad (2-29)$$

$$\text{Cell radius 2 sector} = \sqrt{\frac{\text{cell coverage}}{2.6 x 1,3}} \quad (2-30)$$

## 2.9 *Software Atoll Radio Planning*

*Atoll Radio Planning* adalah *software* desain jaringan dan optimasi yang mendukung operator nirkabel di seluruh level jaringan, mulai dari perencanaan awal untuk densifikasi dan optimasi nirkabel.

Atoll mendukung *multi-format* dan multi-resolusi data geografi. Resolusi tinggi *datasheet* perkotaan dan nasional didukung dan ditampilkan secara interaktif sebagai beberapa lapisan termasuk teknik dan prediksi plot. Atoll juga dilengkapi dengan vektor kartografi *editor* terpadu dan terintegrasi dengan alat GIS (*Geographic Information System*) terkemuka seperti *MapInfo* dan *ArcView*.

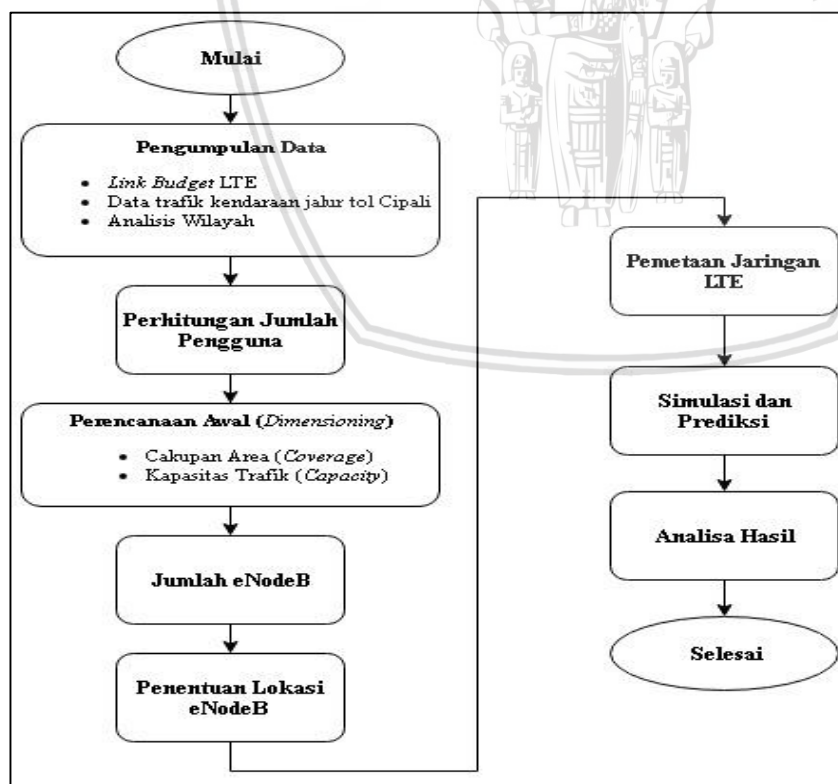


## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Kerangka Pemecahan Masalah

Kerangka pemecahan masalah merupakan serangkaian prosedur dan langkah-langkah dalam penelitian yang bertujuan untuk mendapatkan tahapan yang terstruktur secara sistematis, sehingga penelitian dapat dilakukan dengan efektif dan efisien.

Hasil yang ada dalam penelitian ini meliputi proyeksi pengguna LTE pada tahun 2020, jumlah *site* yang dibutuhkan berdasarkan *coverage* dan *capacity dimensioning*, penentuan lokasi *site* dalam mengoptimalkan cakupan jaringan, hasil performansi cakupan jaringan pada simulasi *software* Atoll dan hasil perhitungan. Perencanaan terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap persiapan, pengumpulan data dan pengolahan data. Pada tahap persiapan dilakukan penggalian informasi yang berkaitan dengan perencanaan. Kemudian menentukan rumusan dan batasan masalah agar penulisan dapat fokus pada permasalahan yang ada. Secara umum diagram alir perencanaan ini tergambar pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir perencanaan LTE

Pengumpulan data dilakukan dengan mengambil data yang berasal dari *manufacture* telekomunikasi, jurnal, dinas terkait serta *text book*. Data spesifikasi perangkat yang dikumpulkan adalah spesifikasi eNodeB dan UE.

Pengolahan data dimulai dengan melakukan perhitungan jumlah pengguna LTE dengan mengolah data trafik kendaraan pada jalur tol Cipali selama 12 bulan pada tahun 2015-2016. Data tersebut kemudian ditabulasi untuk mendapatkan nilai MSE (*Mean Square Error*) dari masing-masing metode peramalan saat diproyeksikan ke tahun 2020. Metode dengan nilai MSE terkecil tiap kecamatan akan digunakan dalam memprediksi jumlah penduduk pada tahun 2020.

Perencanaan awal juga disebut sebagai tahap *dimensioning*, meliputi *coverage dimensioning* dan *capacity dimensioning*. Pada tahap *dimensioning* ini akan menghasilkan jumlah eNodeB yang diperlukan berdasarkan *coverage* dan *capacity*.

Pada tahap *coverage dimensioning* akan dihitung *link budget* berdasarkan spesifikasi eNodeB dan UE yang digunakan untuk menentukan nilai *cell radius*. Data spesifikasi yang digunakan harus sesuai dengan morfologi area dan frekuensi. Frekuensi yang digunakan adalah 700 MHz, sehingga perhitungan *cell radius* menggunakan model propagasi Okumura-Hatta. Antena yang digunakan adalah antenna 2 *sectoral* untuk memaksimalkan *coverage area*. Setelah mendapatkan nilai *cell radius* maka dapat diketahui jumlah *site* yang diperlukan di jalur tol Cipali berdasarkan *coverage dimensioning*. Penggunaan formula pada perhitungan *coverage dimensioning* juga dijelaskan pada Subbab 2.6. Parameter nilai *link budget* yang digunakan ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 *Link budget* LTE

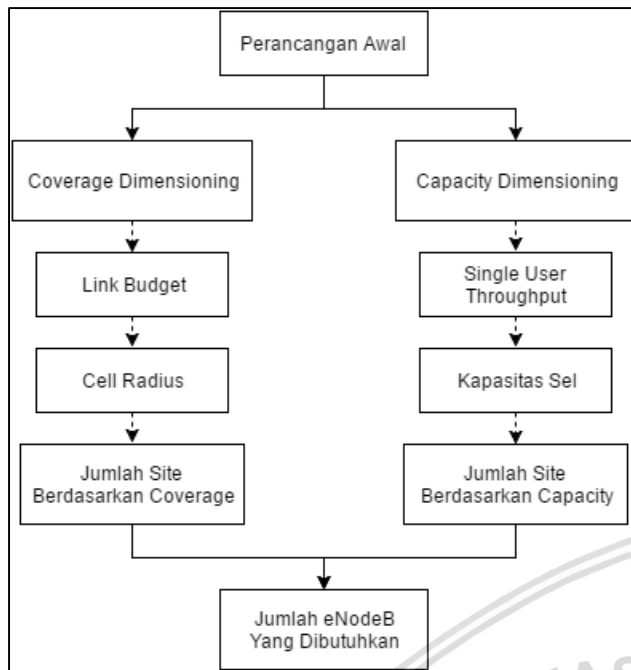
	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>
<b>Duplex Mode</b>	FDD	
<b>Frequency</b>	700 MHz	
<b>Model Propagation</b>	Okumura-Hatta	
<b>Bandwidth Frequency</b>	20 MHz	
<b>Number Resource Block</b>	100 Rb	
<b>Spasi sub-carrier</b>	15 kHz	
<b>Area coverage probability</b>	Urban (95%) ; Sub Urban (90%)	
	<b>Parameter Transmitter</b>	<b>Parameter Transmitter</b>
	<b>(eNodeB)</b>	<b>(UE)</b>
<b>Power Transmit</b>	46 dBm	23 dBm
<b>Gain Tx Antenna</b>	15 dBi	0 dBi
<b>Tinggi Antena</b>	30 m	1.5 m
<b>Cable Loss</b>	2 dB	0 dB
	<b>Parameter Receiver</b>	<b>Parameter Receiver</b>

	<b>Downlink</b>	<b>Uplink</b>
	<b>(UE)</b>	<b>(eNodeB)</b>
<b>Tinggi Antena</b>	1,5 m	30 m
<b>Body Loss</b>	0 dB	0 dB
<b>Noise Figure</b>	7 dB	2.3 dB
<b>Thermal Noise (dBm)</b>	-132,22	-132,22
<b>Interference Margin</b>	4 dB	1 dB
<b>Gain Antena Receiver</b>	0 dBi	15 dBi
<b>Penetration Loss</b>	14 dB	10 dB
<b>Shadow Fading Margin</b>	8 dB	2,8 dB
<b>SINR</b>	-1	-5

Sumber : Huawei Technologies (2010)

Pada tahap *capacity dimensioning* menggunakan nilai model trafik layanan yang telah ditentukan oleh *operator* ataupun *vendor* dengan pertimbangan pengembangan layanan dan strategi pemasaran. Model trafik terdiri dari *service model* dan *user behavior*. Penentuan parameter model layanan dan trafik digunakan untuk menentukan *single user throughput* yang merupakan kecepatan minimal yang diterima oleh seorang pengguna dalam jam sibuk. Nilai *single user throughput* setiap tipe daerah berbeda. Kemudian dilakukan perhitungan *network throughput* tiap seksi. Selanjutnya untuk mendapatkan *throughput per cell* pada DL dan UL menggunakan Persamaan 2-20 hingga 2-22 dengan menyesuaikan jenis modulasi untuk *code bit*, *code rate*, SINR, dan SINR *probability*. Selain itu juga memerhatikan *throughput* pada setiap layernya yang terdiri dari IP, PDCP, RLC, MAC dan *Physical*. *Throughput per cell* kemudian dikalikan dengan banyaknya sel tiap *site* untuk mendapatkan *site capacity*. Pada perencanaan ini menggunakan antenna *2-sectoral* sehingga terdapat 2 sel tiap *sitenya*. Jumlah *site* yang diperlukan berdasarkan *capacity dimensioning* akan didapatkan dengan membagi *network throughput* tiap kecamatan dengan *site capacity*.

Jumlah *site* yang diperoleh dari *coverage* dan *capacity dimensioning* kemudian dibandingkan untuk mendapatkan jumlah *site* terbanyak yang diperlukan. Jumlah *site* terbanyak akan diimplementasikan ke pemetaan jaringan menggunakan *software Atoll*. Penjelasan tahap *dimensioning* tergambar pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Diagram Alir Perencanaan Awal

Penentuan lokasi eNodeB menggunakan data radius sel dari perhitungan *coverage dimensioning* atau *capacity dimensioning*. Hal itu tergantung dari jumlah eNodeB terbanyak yang dibutuhkan berdasarkan salah satu perhitungan *dimensioning*. Lokasi menara dipilih berdasarkan skala pelayanan eNodeB dengan pertimbangan *blank spot area* seminimum mungkin serta penyebaran pengguna berdasarkan peta *clutter* yang digunakan.

Pemetaan berfungsi untuk mendapatkan hasil visual dalam bentuk peta dari perencanaan di Kota Malang. Maka jumlah eNodeB yang dibutuhkan serta luas cakupan area eNodeB dapat terlihat dalam pemetaan. *Software* yang digunakan untuk pemetaan jaringan LTE ini adalah *Atoll Radio Planning Software*. *Software* ini umum digunakan oleh *planner* GSM, WCDMA ataupun LTE.

Proses pemetaan perlu dilakukan konfigurasi parameter jaringan yang digunakan dalam *software* dengan spesifikasi data dalam perhitungan dan keadaan nyata dari suatu daerah perencanaan. Parameter yang diperhatikan antara lain peta yang terdapat data *clutter*, *height* dan *vector*, model propagasi berdasarkan morfologi area, spesifikasi antena yang sesuai dengan frekuensi, serta peta trafik tiap kecamatan berdasarkan jumlah pelanggan per  $km^2$ . Hal ini bertujuan agar hasil pemetaan dapat menyerupai hasil sesungguhnya dari perhitungan dan implementasinya.



### 3.2 Jenis Dan Proses Pengumpulan Data

Perencanaan ini menggunakan jenis data sekunder. Data sekunder merupakan data yang tidak langsung didapat oleh peneliti, misalnya penelitian orang lain atau mencari melalui dokumen, baik dokumen dari instansi pemerintah ataupun literatur. Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini yang berasal dari *manufacture* telekomunikasi, jurnal, dinas terkait serta *text book*. Data spesifikasi perangkat yang dikumpulkan adalah spesifikasi eNodeB dan UE. Spesifikasi tersebut akan digunakan sebagai nilai parameter perhitungan *link budget* pada *coverage planning*.

Prediksi jumlah kendaraan pada jalur tol Cipali pada tahun 2020 membutuhkan data trafik kendaraan beberapa tahun terakhir. Data trafik kendaraan diperoleh dari PT. Lintas Marga Sedaya selaku operator jalur tol Cipali. Berdasarkan hasil penelitian Ericsson (Ericsson mobility report, 2015) disebutkan bahwa jumlah pelanggan LTE di Asia Pasifik termasuk Indonesia pada tahun 2020 adalah 20% dari keseluruhan pengguna *mobile*. Pada penelitian ini jumlah penduduk yang aktif menggunakan LTE nantinya diambil dari penduduk dengan usia produktif.

Perencanaan ini tidak menggunakan titik koordinat *site* yang sudah ada, sehingga perancangan ini membutuhkan pembangunan *site* rekomendasi baru. Data dan sumber yang digunakan dalam penelitian ini tertera pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data dan sumber yang digunakan dalam penelitian

Data	Sumber
Data trafik kendaraan jalur tol Cipali	PT. Lintas Marga Sedaya
Persentase penetrasi internet dan pengguna internet <i>mobile</i>	Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet (2014)
Persentase pengguna LTE pada 2020	Ericsson <i>Mobility Report</i> (2014)
Spesifikasi eNodeB dan UE ( <i>link budget</i> )	LTE <i>Encyclopedia</i> Huawei <i>Technologies</i> (2010) LTE <i>for UMTS</i> (2011)
Contoh trafik model layanan	Huawei <i>Technologies</i> (2010)
Analisis Wilayah	Wikipedia

### 3.3 Variabel Dan Cara Analisis

Analisis dilakukan terhadap beberapa *performance indicators*, terutama yang berkaitan dengan kualitas cakupan area. *Performance indicators* tersebut yaitu distribusi level daya, distribusi *Reference Signal Receive Power* (RSRP), C/(I+N), serta distribusi *throughput*. Pada

simulasi akan didapatkan nilai rata-rata tiap *performance indicators*. Kemudian nilai tersebut akan dibandingkan dengan nilai *Key Performance Indicators* (KPI) jaringan LTE untuk menilai apakah perencanaan ini mendapatkan performansi yang baik. Di samping itu juga akan diketahui berapa persen atau luas cakupan area yang mendapat nilai KPI terbaik.



## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Tol Cipali**

Tol Cikopo-Palimanan atau disingkat dengan Tol Cipali adalah suatu jalan tol yang terbentang sepanjang 116 kilometer menghubungkan daerah Cikopo, Purwakarta dengan Palimanan, Cirebon, Jawa Barat. Secara astronomis jalur tol ini berada pada -6.438 sampai -6.689 dan 108.429 sampai 107.466

##### **4.1.1 Geografis**

Secara geografis Jalan Tol Cipali terletak di 5 wilayah berbeda yaitu : Kabupaten Purwakarta, Kabupaten Subang, Kabupaten Indramayu, Kabupaten Majalengka, dan Kabupaten Cirebon.

Jalan tol ini dibangun diatas tanah seluas 1.080,69 hektare, meiliki 7 gerbang tol dan terbagi menjadi 6 seksi :

- |           |  |
|-----------|--|
| Seksi I   | : Cikopo-Kalijati sepanjang 29,12 kilometer      |
| Seksi II  | : Kalijati-Subang sepanjang 9,56 kilometer       |
| Seksi III | : Subang-Cikedung sepanjang 31,37 kilometer      |
| Seksi IV  | : Cikedung-Kertajati sepanjang 17,66 kilometer   |
| Seksi V   | : Kertajati-Sumberjaya sepanjang 14,51 kilometer |
| Seksi VI  | : Sumberjaya-Palimanan sepanjang 14,53 kilometer |

##### **4.1.2 Jumlah Pengguna Jalan**

Menurut operator serta pengelola jalur tol ini PT Lintas Marga Sedaya (LMS), pertumbuhan jumlah pengguna jalan tol Cipali cenderung meningkat tiap bulan. Jalur tol Cipali mulai beroperasi pada bulan Juni tahun 2015. Berikut data pengguna jalan tol Cipali 1 tahun terakhir ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data trafik lalu lintas Tol Cipali

Bulan	Seksi 1	Seksi 2	Seksi 3
	Cikopo - Kalijati	Kalijati - Subang	Subang - Cikedung
Juni	24.730	24.037	22.931
Juli	30.894	30.481	27.330
Agustus	24.956	24.517	21.263
Sep	26.212	25.546	22.877
Okt	26.490	24.801	23.999
Nov	24.608	24.271	22.722
Des	32.564	30.763	29.654
Jan	27.590	26.296	23.862
Feb	24.498	24.201	21.744
Maret	26.981	25.630	23.841
Apr	26.566	25.179	23.343
Mei	32.254	30.382	27.246

Bulan	Seksi 4	Seksi 5	Seksi 6
	Cikedung - Kertajati	Kertajati - Sumberjaya	Sumberjaya - Palimanan
Juni	22.604	22.739	22.048
Juli	26.598	25.778	24.366
Agustus	20.046	19.207	18.740
Sep	21.991	21.657	20.914
Okt	23.384	23.255	22.613
Nov	22.266	21.413	20.834
Des	28.099	28.749	28.383
Jan	23.399	22.596	22.618
Feb	21.354	20.880	21.167
Maret	22.890	22.516	22.001
Apr	21.988	21.898	21.052
Mei	26.315	26.373	27.068

Sumber : PT Lintas Marga Sedaya (2017)

#### 4.2 Prediksi Jumlah Pengguna Jalan Tahun 2020

Peramalan jumlah pengguna jalur Tol Cipali pada tahun 2020 perlu menentukan model peramalan yang digunakan. Model peramalan (*trend*) yang digunakan berdasarkan nilai *error* (MSE) terkecil dari tabulasi data pengguna jalur tol pada tiap seksi. Tabulasi dilakukan pada tiap seksi jalur Tol Cipali untuk menentukan persamaan model peramalan linier, kuadratik dan eksponensial. Setelah data penduduk tiap seksi ditabulasi maka didapatkan nilai error terkecil pada *trend* kuadratik. Pada Tabel 4.2 dapat dilihat perbandingan nilai MSE tiap *trend* per seksi.

Tabel 4.2 Perbandingan nilai MSE antar model peramalan

Seksi	MSE		
	Linier	Kuadratik	Eksponensial
1	7.292.936	7.071.610	725.647.145
2	6.070.791	5.868.970	694.375.780
3	6.081.010	5.619.689	655.472.398
4	5.102.287	5.061.824	6.573.675.495
5	6.245.446	6.164.020	519.740.209
6	6.314.253	6.232.207	506.149.773

#### 4.2.1 Prediksi Penduduk Setiap Seksi

Berdasarkan data trafik lalu lintas jalur tol Cipali pada Tabel 4.1, dibuat tabulasi data kendaraan pada tiap seksi yang tertera pada Tabel 4.3 hingga 4.7. Tabulasi dilakukan ke tiap seksi untuk menentukan persamaan model peramalan linier, kuadratik dan eksponensial. Dari tabulasi data tersebut akan dihitung nilai faktor  $a$ ,  $b$  dan  $c$  dari persamaan kuadratik pada Persamaan (2-17), yaitu  $P_t = a + bt + ct^2$ .

Tabulasi data pengguna jalur tol cipali pada seksi I ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Tabulasi data Seksi I

Bulan	$y_i$	$t$	$y_i t$	$t^2$	$y_i t^2$	$t^4$
Juni	24730	-6	-148381	36	890287	1296
Juli	30894	-5	-154469	25	772346	625
Agustus	24956	-4	-99826	16	399303	256
September	26212	-3	-78636	9	235908	81
Oktober	26490	-2	-52980	4	105961	16
November	24608	-1	-24608	1	24608	1
Desember	32564	1	32564	1	32564	1
Januari	27590	2	55180	4	110361	16
Februari	24498	3	73493	9	220479	81
Maret	26981	4	107925	16	431700	256
Maret	26566	5	132831	25	664153	625
Mei	32254	6	193525	36	1161152	1296
<b>Total</b>	328344	0	36618	182	5048821	4550

Tabulasi data pengguna jalur tol cipali pada seksi II ditampilkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Tabulasi data Seksi II

Bulan	$y_i$	$t$	$y_i t$	$t^2$	$y_i t^2$	$t^4$
Juni	24037	-6	-144222	36	865332	1296
Juli	30481	-5	-152404	25	762021	625
Agustus	24517	-4	-98069	16	392276	256
September	25546	-3	-76637	9	229911	81
Oktober	24801	-2	-49602	4	99204	16
November	24271	-1	-24271	1	24271	1
Desember	30763	1	30763	1	30763	1
Januari	26296	2	52593	4	105185	16
Februari	24201	3	72603	9	217809	81
Maret	25630	4	102518	16	410072	256
April	25179	5	125894	25	629470	625
Mei	30382	6	182292	36	1093754	1296
<b>Total</b>	316103	0	21457	182	4860068	4550

Tabulasi data pengguna jalur tol cipali pada seksi III ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Tabulasi data Seksi III

Bulan	$y_i$	$t$	$y_i t$	$t^2$	$y_i t^2$	$t^4$
Juni	22931	-6	-137588	36	825526	1296
Juli	27330	-5	-136648	25	683239	625
Agustus	21263	-4	-85053	16	340211	256
September	22877	-3	-68630	9	205889	81
Oktober	23999	-2	-47998	4	95995	16
November	22722	-1	-22722	1	22722	1
Desember	29654	1	29654	1	29654	1
Januari	23862	2	47724	4	95449	16
Februari	21744	3	65232	9	195696	81
Maret	23841	4	95364	16	381455	256
April	23343	5	116716	25	583579	625
Mei	27246	6	163475	36	980850	1296
<b>Total</b>	290811	0	19528	182	4440265	4550



Tabulasi data pengguna jalur tol cipali pada seksi IV ditampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Tabulasi data Seksi IV

Bulan	$y_i$	$t$	$y_i t$	$t^2$	$y_i t^2$	$t^4$
Juni	22604	-6	-135624	36	813742	1296
Juli	26598	-5	-132989	25	664943	625
Agustus	20046	-4	-80184	16	320737	256
September	21991	-3	-65974	9	197921	81
Oktober	23384	-2	-46767	4	93534	16
November	22266	-1	-22266	1	22266	1
Desember	28099	1	28099	1	28099	1
Januari	23399	2	46798	4	93595	16
Februari	21354	3	64061	9	192182	81
Maret	22890	4	91561	16	366242	256
April	21988	5	109940	25	549702	625
Mei	26315	6	157887	36	947324	1296
<b>Total</b>	280932	0	14542	182	4290286	4550

Tabulasi data pengguna jalur tol cipali pada seksi V ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Tabulasi data Seksi V

Bulan	$y_i$	$t$	$y_i t$	$t^2$	$y_i t^2$	$t^4$
Juni	22739	-6	-136436	36	818614	1296
Juli	25778	-5	-128891	25	644457	625
Agustus	19207	-4	-76829	16	307316	256
September	21657	-3	-64970	9	194909	81
Oktober	23255	-2	-46509	4	93019	16
November	21413	-1	-21413	1	21413	1
Desember	28749	1	28749	1	28749	1
Januari	22596	2	45192	4	90383	16
Februari	20880	3	62641	9	187922	81
Maret	22516	4	90063	16	360251	256
April	21898	5	109489	25	547444	625
Mei	26373	6	158237	36	949424	1296
<b>Total</b>	277060	0	19322	182	4243899	4550

Tabulasi data pengguna jalur tol cipali pada seksi VI ditampilkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Tabulasi data Seksi VI

Bulan	$y_i$	$t$	$y_i t$	$t^2$	$y_i t^2$	$t^4$
Juni	22048	-6	-132286	36	793718	1296
Juli	24366	-5	-121830	25	609148	625
Agustus	18740	-4	-74958	16	299832	256
September	20914	-3	-62743	9	188228	81
Oktober	22613	-2	-45226	4	90453	16
November	20834	-1	-20834	1	20834	1
Desember	28383	1	28383	1	28383	1
Januari	22618	2	45237	4	90473	16
Februari	21167	3	63502	9	190507	81
Maret	22001	4	88003	16	352011	256
April	21052	5	105258	25	526291	625
Mei	27068	6	162408	36	974446	1296
<b>Total</b>	271803	0	34913	182	4164324	4550

Setelah membuat tabulasi data kendaraan, kemudian mencari nilai faktor  $a$ ,  $b$  dan  $c$  dari persamaan *trend* kuadratik untuk mendapatkan nilai  $P_t$ . Persamaan faktor  $a$ ,  $b$  dan  $c$  adalah sebagai berikut.

$$a = \frac{\sum y_i - c \sum t^2}{n}; b = \frac{\sum t y_i}{\sum t^2}; c = \frac{n \sum t^2 y_i - \sum t^2 \sum y_i}{n \sum t^4 - (\sum t^2)^2}$$

Nilai faktor  $c$  Seksi I:

$$c_{\text{Seksi I}} = \frac{(12 \times 5.048.821) - (182 \times 328.344)}{(12 \times 4.550) - (182^2)}$$

$$c_{\text{Seksi I}} = \frac{60.585.852 - 59.758.608}{54.600 - 33.124}$$

$$c_{\text{Seksi I}} = 38,52$$

Nilai faktor  $a$  Seksi I:

$$a_{\text{Seksi I}} = \frac{328344 - (38,52 \times 182)}{12}$$

$$a_{\text{Seksi I}} = \frac{315.978 + 17.463,16}{12}$$

$$a_{\text{Seksi I}} = 26.777,78$$

Nilai faktor  $b$  Seksi I :

$$b_{\text{seksi I}} = \frac{36618}{182}$$

$$b_{\text{seksi I}} = 201,2$$

Perhitungan dilakukan ke setiap seksi seperti pada Tabel 4.8 untuk mendapatkan nilai faktor persamaannya. Kemudian substitusikan nilai tersebut ke persamaan kuadrat  $P_t = \alpha + bt + ct^2$  untuk mendapatkan model persamaan kuadrat masing-masing seksi.

Tabel 4.9 Persamaan kuadratik setiap seksi

Seksi	Nilai Faktor Persamaan			Persamaan Kuadratik
	$a$	$b$	$c$	
1	26777,7	201,2	38,52	$P_t = 26777,7 + 201,2 t + 38,52 t^2$
2	25784,01	117,89	36,79	$P_t = 25784,01 + 117,89 t + 36,79 t^2$
3	23983,11	107,3	16,56	$P_t = 23983,11 + 107,3 t + 16,56 t^2$
4	23161,21	79,9	16,47	$P_t = 23161,21 + 79,9 t + 16,47 t^2$
5	22733,97	106,16	23,37	$P_t = 22733,97 + 106,16 t + 23,37 t^2$
6	22294,53	191,83	23,45	$P_t = 22294,53 + 191,83 t + 23,45 t^2$

Persamaan kuadratik setiap seksi telah diketahui pada Tabel 4.9, kemudian substitusikan nilai  $t$  pada tahun 2020 untuk mengetahui jumlah pengguna jalur Tol Cipali pada setiap seksi. Pada bulan Desember 2015 nilai  $t$  adalah 1 dan peningkatannya dari tahun ke tahun ditentukan +1. Maka nilai  $t$  pada Januari 2020 adalah 50.

Prediksi trafik lalu lintas seksi I tol Cipali Januari tahun 2020 :

$$P_{\text{Seksi I Jan 2020}} = 26.777,7 + 201,2 (50) + 38,52 (50^2)$$

$$P_{\text{Seksi I Jan 2020}} = 26.777,7 + 10.060 + 96.300$$

$$P_{\text{Seksi I Jan 2020}} = 133.138 \text{ Kendaraan}$$

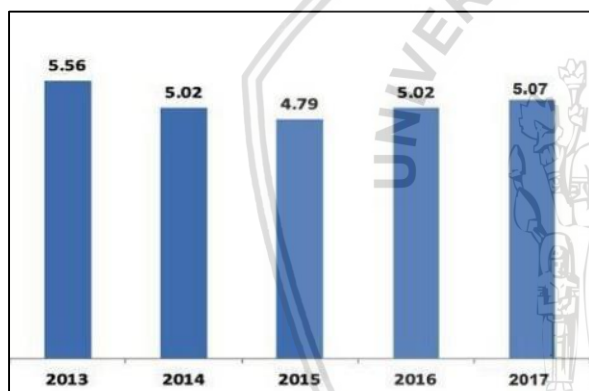
Substitusi nilai  $t$  ke persamaan kuadratik dilakukan ke setiap seksi, sehingga didapatkan prediksi jumlah trafik kendaraan jalur tol Cipali pada tahun 2020 seperti yang terlihat pada Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Jumlah kendaraan per bulan tol Cipali tahun 2020

Bulan	Seksi					
	I	II	III	IV	V	VI
Januari	133.138	123.654	70.748	68.331	86.467	90.511
Februari	137.229	127.487	72.528	70.075	88.934	93.071
Maret	141.398	131.394	74.341	71.851	91.447	95.678
Maret	145.644	135.375	76.187	73.660	94.007	98.333
Mei	149.967	139.430	78.066	75.502	96.614	101.034

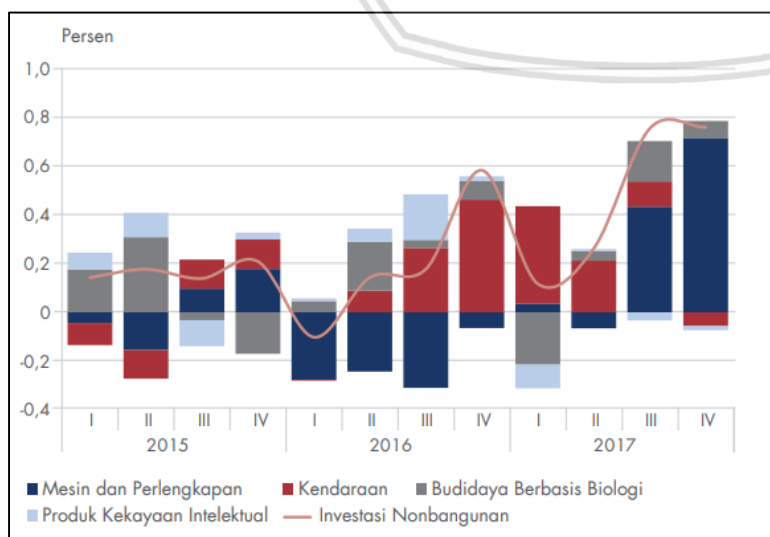
Bulan	Seksi					
	I	II	III	IV	V	VI
Juni	154.367	143.558	79.979	77.377	99.267	103.781
Juli	158.844	147.759	81.924	79.286	101.967	106.576
Agustus	163.398	152.034	83.903	81.227	104.714	109.418
September	168.029	156.383	85.914	83.200	107.508	112.306
Oktober	172.737	160.806	87.959	85.207	110.348	115.242
November	177.522	165.301	90.037	87.247	113.236	118.224
Desember	182.384	169.871	92.148	89.320	116.170	121.254
<b>Total</b>	<b>1.884.655</b>	<b>1.753.053</b>	<b>973.734</b>	<b>942.284</b>	<b>1.210.677</b>	<b>1.265.429</b>

Prediksi jumlah pengguna LTE di jalur tol Cipali pada tahun 2020 dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu menentukan rata-rata kendaraan pada jam sibuk, besarnya penetrasi pengguna internet di Jawa Barat dan Indonesia secara keseluruhan, prediksi pengguna LTE di Asia Pasifik pada tahun 2020 serta pengguna *mobile* dalam mengakses internet di Jawa dan Bali.



Gambar 4.1 Persentase Pertumbuhan Ekonomi Indonesia 2013 – 2017

Sumber: bi.go.id



Gambar 4.2 Kontribusi Pertumbuhan Kendaraan Terhadap Pertumbuhan Ekonomi

Sumber: Badan Pusat Statistik

Persentase rata-rata pertumbuhan kendaraan terhadap pertumbuhan ekonomi pada 3 tahun terakhir di Indonesia adalah 0,146%. Nilai 0,708% digunakan untuk mendapatkan jumlah pengguna *mobile internet* berdasarkan pertumbuhan kendaraan pertumbuhan ekonomi di tahun 2020 dengan mengalikannya dengan prediksi jumlah kendaraan tahun 2020.

Pada tahun 2014, Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII) melaksanakan survey terhadap konsumen internet di seluruh Indonesia. Survey tersebut menyatakan bahwa penetrasi pengguna internet di Jawa Barat telah mencapai 31%. Jika dilihat secara nasional penetrasi pengguna internet juga selalu mengalami peningkatan tiap tahunnya. Dimana dalam 10 tahun telah mengalami peningkatan penetrasi internet sekitar 3% per tahun. Maka jika peningkatan penetrasi terjadi secara linier, diprediksi pada tahun 2020 tingkat penetrasi internet di Jawa Barat akan mencapai 49%. APJII juga menyatakan dalam surveynya bahwa 92% dari pengguna internet di Jawa dan Bali menggunakan perangkat mobile. Berdasarkan Ericson *Mobility Report*, prediksi pengguna LTE di Asia Pasifik termasuk Indonesia pada tahun 2020 sebesar 40 % dari pengguna telekomunikasi yang ada. Beberapa nilai persentase tersebut menjadi landasan dalam penelitian ini untuk mendapatkan jumlah pengguna LTE pada tahun 2020 di jalur tol Cipali.

Sehingga rata-rata trafik lalu lintas yang melewati jalur tol Cipali pada tahun 2020 terlihat pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11 Jumlah kendaraan tol Cipali tahun 2020

Wilayah	Jumlah kendaraan 2020	Panjang wilayah (km)	Pertumbuhan Ekonomi 0,71%	Penetrasi Internet 49%	Pengguna Mobile 92%	Pengguna LTE 40%	Rata-rata kendaraan pada jam sibuk
Seksi I	157.055	29,12	155.940	76.411	70.298	28.119	11.218
Seksi II	146.088	9,56	145.051	71.075	65.389	26.156	10.435
Seksi III	81.145	31,37	80.569	39.479	36.320	14.528	5.796
Seksi IV	78.524	17,66	77.966	38.204	35.147	14.059	5.609
Seksi V	100.890	14,51	100.174	49.085	45.158	18.063	7.206
Seksi VI	105.452	14,53	104.703	51.305	47.200	18.880	7.532

### 4.3 Coverage Dimensioning

*Coverage dimensioning* merupakan langkah perencanaan jaringan dari spesifikasi alat dan parameter *input* jaringan secara teknik, diantaranya dengan mempertimbangkan daya pancar, daya terima, *path loss*, sensitivitas alat, dan lain-lain. Pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui luas wilayah cakupan sebuah eNodeB. Kemudian akan didapatkan jumlah eNodeB yang dibutuhkan berdasarkan *coverage dimensioning*.

### 4.3.1 Radio Link Budget

Proses ini merupakan tahapan perencanaan untuk melakukan prediksi perencanaan yang sesuai dengan spesifikasi alat yang ingin digunakan. Spesifikasi *link budget* perencanaan ini mengikuti nilai pada modul Huawei *Technologies* dan beberapa literatur tambahan yang bekerja di frekuensi 700 MHz. Perhitungan *path loss system* adalah yang pertama dilakukan. Perhitungan ini meliputi arah *uplink* dan *downlink*, dengan memperhitungkan beberapa parameter diantaranya *transmit power*, *gain antenna*, *fading margin*, sensitivitas, dan lain-lain.

Setiap morfologi area memiliki *losses* yang berbeda. Nilai *losses* tersebut diambil dari beberapa referensi yang dapat digunakan. Sehingga nilai *path loss* setiap tipe area akan berbeda. Skenario *link budget* perencanaan ini ditampilkan pada Tabel 4.12 dan Tabel 4.13.

Tabel 4.12 Skenario *link budget uplink* dan *downlink*

Link Budget		Satuan	Unit / Formula	Nilai	
				UL	DL
General	eNodeB Height	m	-	30	30
	UE Height	m	-	1,5	1,5
	Bandwidth	MHz	A	20	20
	Spasi Sub-Carrier	kHz	-	15	15
	Resource Block	-	$B = A / (12 \times 15 \text{ kHz})$	100	100
	Allocated Resources Block	-	C	8	100
Tx					
UE	Max Total Tx Power	dBm	D	23	46
	Subcarriers to Distribute Power	-	$E = 12 \times C$	96	1200
	Subcarrier Power	dBm	$F = D - 10 \log E$	3,18	15,21
	Tx Antenna Gain	dBi	G	0	15
	Tx Body Loss	dB	H	0	2
	EIRP per Subcarrier	dBm	$I = F + G - H$	3,18	28,21
Rx					
eNB	SINR	-	J	-5	-1
	Rx Noise Figure	dB	K	2,3	7
	Thermal Noise	dBm	$L = 10 \log (1.38 \times 10^{-23} \times T \times A \times 1000)$	-132,22	-132,22
	Receiver Sensitivity	dBm	$M = J + K + L$	-134,92	-126,22
	Rx Antenna Gain	dBi	N	15	0
	Rx Cable Loss	dB	O	0	0
	Interference Margin	dB	P	1	4
	Min Signal Reception Strength	dBm	$Q = M - N + O + P$	-148,92	-122,22
MAX. ALLOWABLE PATH LOSS		dB	$T = I - Q$	152,09	150,42



Tabel 4.13 *Path loss* berdasarkan morfologi area

Parameter	Suburban
MAPL (dB)	150,42
Penetration Loss (dB)	10
Shadow Fading Margin (dB)	2,8
Standard deviation (dB)	6
Average Power Loss of Delay Spread (dB)	9
<b>Path Loss per Clutter Type (dB)</b>	<b>128,62</b>

### 4.3.2 Perhitungan Jari-Jari Sel

Perencanaan LTE ini menggunakan model propagasi Okumura-Hatta yang bekerja pada rentang frekuensi 150 MHz sampai 1500 MHz. Hal ini dikarenakan model Okumura-Hatta dianggap lebih tepat diaplikasikan untuk perencanaan jaringan LTE 700 MHz (Uke Kurniawan, 2012). Persamaan model propagasi pada perencanaan di Kota Malang menggunakan model propagasi daerah suburban dan urban yang bertipe kota kecil.

Berdasarkan perhitungan *link budget* sebelumnya, MAPL yang digunakan dalam perhitungan jari-jari sel adalah MAPL dengan nilai terkecil yaitu MAPL *downlink*. Hal ini dikarenakan makin kecil MAPL maka jari-jari sel akan makin kecil. Sehingga sisi *uplink* dan *downlink* dapat tercakup sepenuhnya.

Perhitungan jari-jari sel adalah sebagai berikut.

#### a. Daerah Urban

$$a(h_{ms}) = [1.1 \log(f) - 0,7] h_{ms} - [1,56 \log(f) - 0,8]$$

$$PL_{urban} = C_1 + C_2 \log(f) - 13,82 \log(h_{BTS}) - a(h_{ms}) + [44,9 - 6,55 \log(h_{BTS})] \log(r)$$

$$125,42 = 69,55 + 26,16 \log 700 - 13,82 \log 30 - [1,1 \log 700 - 0,7]1,5 - [1,56 \log 700 - 0,8] + [44,9 - 6,55 \log 30] \log r$$

$$125,42 = 69,55 + 74,42 - 20,41 - 0,006 + 35,22 \log r$$

$$125,42 = 123,55 + 35,22 \log r$$

$$\log r = \frac{1,87}{35,22} = 0,0531$$

$$r = 1,13 \text{ km}$$

#### b. Daerah Sub Urban

$$PL_{sub\ urban} = PL_{urban} - 2 \left[ \log\left(\frac{f}{28}\right) \right]^2 - 5,4$$

$$PL_{sub\ urban} = 123,55 + 35,22 \log r - 2 \left[ \log\left(\frac{700}{28}\right) \right]^2 - 5,4$$

$$128,62 = 123,55 + 35,22 \log r - 3,908 - 5,4$$

$$\log r = \frac{14,378}{35,22} = 0,40823$$

$$r = 2,56 \text{ km}$$

#### 4.3.3 Perhitungan jumlah *site*

Pada perencanaan ini menggunakan antena *2-sectoral* dengan bentuk sel heksagonal. Luas sel dihitung menggunakan Persamaan 2-12:

Luas Sel Daerah Rural *2-sectoral*

$$L_{cell} = 1.3 \times 2.6 \times (r^2)$$

$$L_{cell} = 1.3 \times 2.6 \times (2,56)^2$$

$$L_{cell} = 22,151 \text{ km}^2$$

Penentuan jumlah sel dihitung dengan membagi luas area tiap seksi di jalur Tol Cipali dengan besar luas sel. Persamaan yang digunakan adalah Persamaan 2-13 sehingga menghasilkan jumlah eNodeB yang diperlukan seperti pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Jumlah eNodeB berdasarkan *coverage dimensioning*

Wilayah	Panjang Wilayah (km)	Jumlah eNodeB
Seksi I	29,12	2
Seksi II	9,56	1
Seksi III	31,37	2
Seksi IV	17,66	1
Seksi V	14,51	1
Seksi VI	14,53	1

Bedasarkan *coverage dimensioning* didapatkan jumlah eNodeB yang diperlukan untuk perencanaan sepanjang jalur Tol Cipali sebanyak 8 *site* dan 16 sel dimana setiap *sitenya* mempunyai 2 sel karena menggunakan antena *2-sectoral*.

#### 4.4 Capacity Dimensioning

Perhitungan *capacity dimensioning* bertujuan untuk mendapatkan *site* yang diperlukan dari sisi kapasitas kanal. Hal tersebut didapat berdasarkan *network throughput* yang dibutuhkan pada suatu daerah berbanding *throughput* yang mampu terlayani tiap sel.

#### 4.4.1 Trafik dan Model Layanan

Pada perencanaan ini menggunakan contoh model dan trafik layanan LTE seperti pada Tabel 2.4 dan 2.5. Penentuan parameter model dan trafik layanan digunakan untuk menentukan *single user throughput* yang merupakan kecepatan minimal yang diterima oleh seorang pengguna dalam jam sibuk. Perhitungan dilakukan berdasarkan tipe daerah yang ditempati tiap pengguna. Sehingga akan mendapatkan *single user throughput*, *network throughput* serta *throughput per km<sup>2</sup>* pada daerah yang akan di rencanakan.

Berikut adalah perhitungan  $\frac{\text{Throughput}}{\text{Session}}$  layanan VoIP dari arah uplink.

$$\frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} (\text{Kbit}) = \text{Session Time} \times \text{Session Duty Ratio} \times \text{Bearer Rate} \times \frac{1}{1-\text{BLER}}$$

$$\frac{\text{Throughput}}{\text{Session}}_{\text{VoIP\_UL}} = 26,9 \times 80 \times 0,6 \times \frac{1}{1-10\%} = 1.434,7 \text{ Kbit}$$

Kemudian menghitung  $\frac{\text{Throughput}}{\text{Session}}$  setiap layanan dari arah *uplink* maupun *downlink* yang ditampilkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 *Throughput per session* setiap layanan

Traffic Parameter	UL	DL
	Throughput per Session (Kb)	Throughput per Session (Kb)
VoIP	1.434,7	1.434,7
Video Phone	4.863,4	4.863,4
Video Convergence	125.060,0	125.060,0
Real Time Gaming	12.504,0	100.048,0
Streaming Media	6.252,0	950.418,0
IMS Signaling	24,3	24,3
Web Browsing	6.253,0	25.011,0
File Transfer	93.793,3	500.226,7
Email	7.816,1	12.505,7
P2P File Sharing	333.480,0	1.000.453,3

Hasil tersebut digunakan untuk menghitung *single service throughput* tiap layanan dan *single user throughput* berdasarkan tipe daerah. Dimana tiap morfologi area memiliki nilai *penetration ratio*, BHSa dan PAR yang berbeda (lihat Tabel 2.4 dan 2.5). Berikut adalah perhitungan *single service throughput* pada layanan VoIP arah *uplink* di daerah *sub urban*.

$$\text{Single Service Throughput} = \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}}_{\text{VoIP\_UL}} \times \text{Penetration Ratio} \times \text{BHSa} \times \frac{1}{1+\text{PAR}}$$

$$\text{Single Service Throughput} = 1.434,7 \text{ Kbit} \times 50\% \times 1 \times \frac{1}{1+10\%} = 652,1 \text{ Kbit}$$

Selanjutnya menggunakan Persamaan 2-19 guna mendapatkan nilai *single user throughput* berdasarkan tipe daerah yang ditempati tiap pengguna seperti pada Tabel 4.16. dan penentuan nilai *network throughput* setiap seksi menggunakan Persamaan 2-24. Perhitungan didapat dengan memperhatikan *single user throughput* berdasarkan tipe daerah setiap seksi yang ditampilkan pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18.

Tabel 4.16 *Single service throughput* dan *single user throughput*

Traffic Parameter	Single Service Throughput	
	Sub urban	
	UL	DL
VoIP	789,07	789,07
Video Phone	53,50	53,50
Video Converence	1.375,66	1.375,66
Real Time Gaming	137,54	1.100,53
Streaming Media	34,39	5.227,30
IMS Signaling	20,06	20,06
Web Browsing	825,40	3.301,45
File Transfer	4.126,91	22.009,97
Email	171,95	275,12
P2P File Sharing	14.673,12	44.019,95
<b>Total</b>	<b>22.207,59</b>	<b>78.172,61</b>
<i>Single User Throughput in Busy Hour (Kbps)</i>	<b>6,17</b>	<b>21,71</b>

Tabel 4.17 *Network throughput* UL tiap seksi

Item	UL					
	Seksi I	Seksi II	Seksi III	Seksi IV	Seksi V	Seksi VI
<b>Jumlah Pengguna</b>	11.218	10.435	5.796	5.609	7.206	7.532
<b>Network Throughput. IP Layer (Mbit)</b>	69	64	36	35	44	46

Tabel 4.18 *Network throughput* DL tiap seksi

Item	DL					
	Seksi I	Seksi II	Seksi III	Seksi IV	Seksi V	Seksi VI
<b>Jumlah Pengguna</b>	11.218	10.435	5.796	5.609	7.206	7.532
<b>Network Throughput. IP Layer (Mbit)</b>	244	227	126	122	156	164

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan nilai *network throughput* setiap seksi dari arah *uplink* dan *downlink*. *Network throughput* adalah total bit *throughput* jaringan tiap daerah untuk mengakses berbagai layanan pada jam sibuk.

#### 4.4.2 Kapasitas Sel

Besarnya kapasitas sel bergantung dari konfigurasi skema *mapper* modulasi (Tabel 2.6) yang digunakan serta *bandwidth* yang dialokasikan. Kapasitas sel didefinisikan sebagai *throughput per sel*. Penentuan *throughput per sel* menggunakan Persamaan 2-20, 2-21, 2-22 dan 2-23. Berikut adalah perhitungan *throughput per cell* pada salah satu skema modulasi, yaitu QPSK 1/3 arah *uplink*.

- $$UL\ MAC\ layer\ throughput + CRC = (168 - 24) \times M \times MCS \times Nrb \times C \times 1000$$

$$UL\ MAC\ layer\ throughput + 24 = (168 - 24) \times 2 \times 0,33 \times 100 \times 2 \times 1000$$

$$UL\ MAC\ layer\ throughput = 19,199\ Mbps$$
- $$UL\ Cell\ Average = UL\ MAC\ layer\ throughput \times SINR\ Probability$$

$$UL\ Cell\ Average = 19,199\ Mbps \times 0,8 = 15,359\ Mbps$$
- $$Throughput\ per\ cell = UL\ Cell\ Average \times a \times b \times c$$

$$Throughput\ per\ cell = 15,359\ Mbps \times \frac{300}{302} \times \frac{302}{304} \times \frac{306}{308} = 15,058\ Mbps$$

$$Throughput\ per\ cell = 15,058\ Mbps$$

Selanjutnya melakukan perhitungan ke setiap modulasi yang ada pada skema *mapper*. Sehingga akan mendapatkan kapasitas *throughput* maksimal yang mampu terlayani setiap selnya. Kapasitas sel atau *throughput per cell* ditampilkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.19 *Throughput per cell downlink dan uplink*

Mapper	Code Bits (M)	Code Rate (MCS)	SINR	SINR Probability	DL Cell Average	UL Cell Average	Throughput per Cell (DL)	Throughput per Cell (UL)
QPSK 1/3	2	0,33	-0,75	0,8	12.799.981	15.359.981	12.549.001	15.058.805
QPSK 1/2	2	0,5	1,5	0,5	11.999.988	14.399.988	11.764.694	14.117.635
QPSK 2/3	2	0,67	3,5	0,25	7.999.994	9.599.994	7.843.131	9.411.759
16 QAM 1/2	4	0,5	7	0,17	8.159.996	9.791.996	7.999.996	9.599.996
16 QAM 2/3	4	0,67	9,5	0,15	9.599.996	11.519.996	9.411.761	11.294.114
16 QAM 4/5	4	0,8	10,5	0,1	7.679.998	9.215.998	7.529.409	9.035.292
64 QAM 1/2	6	0,5	11,5	0,1	7.199.998	8.639.998	7.058.821	8.470.586
64 QAM 2/3	6	0,67	> 14,7	0,05	4.799.999	5.759.999	4.705.881	5.647.058
					<b>Throughput per Cell (Mb)</b>		<b>68,86</b>	<b>82,64</b>

#### 4.4.3 Perhitungan Jumlah eNodeB Berdasarkan Capacity

Jumlah eNodeB yang diperlukan bergantung dari *network throughput* tiap seksi berbanding dengan besarnya kapasitas sel. Selain itu juga akan menghitung jumlah pengguna per sel serta luas dan jari-jari sel berdasarkan *capacity*. Perhitungan ini menggunakan Persamaan 2-26, 2-27, 2-28, 2-29 dan 2-30 Hasil perhitungan tersebut ditampilkan pada Tabel 4.19 dan 4.20.

Tabel 4.20 Jumlah eNodeB Seksi I, II, dan III

Item	Seksi I		Seksi II		Seksi III	
	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink
Total Pengguna di 2020	11.218		10.435		5.796	
Total Network Throughput (IP Layer) (Mbps)	243,5	69,2	226,5	64,4	145,8	35,8
Throughput per Cell (Mbps)	68,86	82,64	68,86	82,64	68,86	82,64
Site Capacity (Mbps)	137,72	165,28	137,72	165,28	137,72	165,28
Jumlah eNodeB	2	1	2	1	2	1
Jumlah eNodeB berdasarkan Kapasitas	2		2		2	
Jumlah Pengguna per eNodeB	4.345		4.345		4.345	
Luas Wilayah (km <sup>2</sup> )	29,12		9,56		31,37	
Luas Sel (km <sup>2</sup> )	7,28		2,39		15,69	
Radius Sel (km)	1,47		0,84		2,15	

Tabel 4.21 Jumlah eNodeB Seksi IV, V, dan VI

Item	Seksi IV		Seksi V		Seksi VI	
	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink
Total Pengguna di 2020	5.609		7.206		7.532	
Total Network Throughput (IP Layer) (Mbps)	121,8	34,6	156,5	44,5	163,5	46,5
Throughput per Cell (Mbps)	68,86	82,64	68,86	82,64	68,86	82,64
Site Capacity (Mbps)	137,72	165,28	137,72	165,28	137,72	165,28
Jumlah eNodeB	1	1	2	1	2	1
Jumlah eNodeB berdasarkan Kapasitas	1		2		2	



Item	Seksi IV		Seksi V		Seksi VI	
	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink
Jumlah Pengguna per eNodeB	4.345		4.345		4.345	
Luas Wilayah (km <sup>2</sup> )	17,66		14,51		14,53	
Luas Sel (km <sup>2</sup> )	8,83		3,63		3,63	
Radius Sel (km)	1,62		1,04		1,04	

Berdasarkan *capacity dimensioning*, perencanaan ini membutuhkan 11 eNodeB dengan total 22 sel. Setiap eNodeB dapat melayani sejumlah 4.345 pengguna pada daerah *sub urban*.

#### 4.5 Perencanaan Lokasi eNodeB

Perencanaan dalam menentukan lokasi eNodeB menggunakan *software* Atoll. Karena Atoll mendukung *multi-format* dan multi-resolusi data geografi. eNodeB yang dibutuhkan di jalur tol Cipali berdasarkan *capacity* dan *coverage* ditampilkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.22 Jumlah eNodeB berdasarkan *coverage* dan *capacity*

Wilayah	Luas Wilayah km <sup>2</sup>	Morfologi Area	Jumlah eNodeB	
			Coverage	Capacity
Seksi I	29,12	Sub Urban	2	2
Seksi II	9,56		1	2
Seksi III	31,37		2	2
Seksi IV	17,66		1	1
Seksi V	14,51		1	2
Seksi VI	14,53		1	2
<b>Jumlah</b>	<b>116,75</b>		<b>8</b>	<b>11</b>

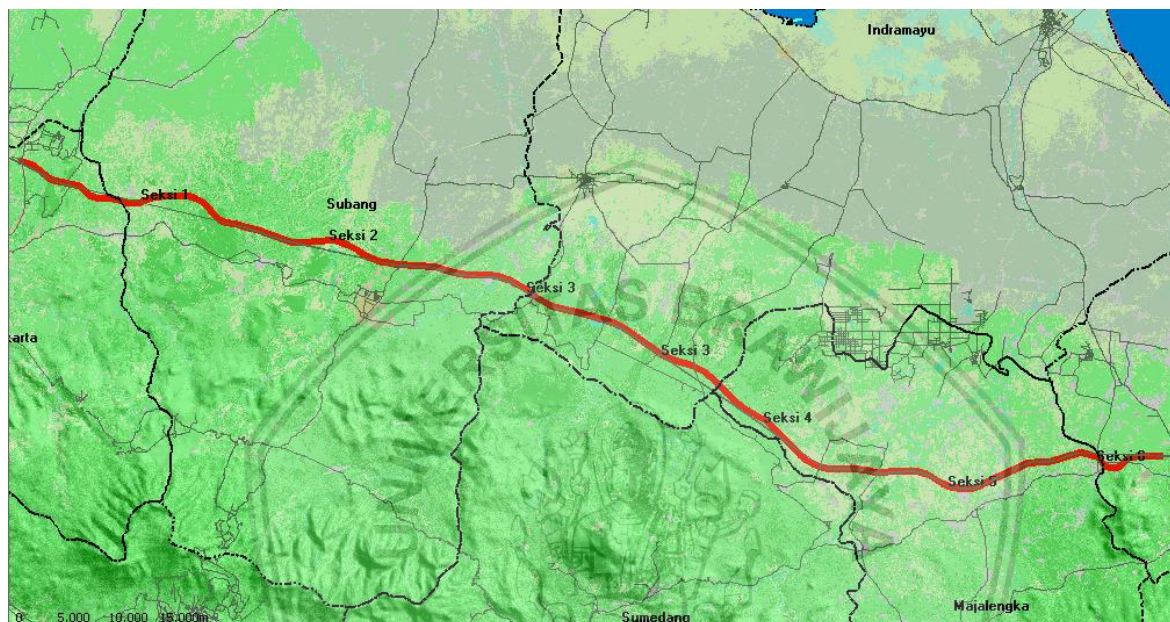
Tabel 4.21 terdapat perbedaan eNodeB yang dibutuhkan dari *coverage* dan *capacity*, dimana kebutuhan dari sisi *capacity* lebih besar. Maka dalam perencanaan lokasi eNodeB menggunakan kebutuhan eNodeB yang paling banyak, yaitu sejumlah 11 eNodeB.

#### 4.6 Konfigurasi Parameter Pada *Software* Atoll

Peta dasar yang dibutuhkan adalah peta digital elevasi dan peta tata lahan. Pada skripsi ini peta elevasi yang digunakan adalah peta DTM yang diunduh dari server *open source* di *Global Data Explorer* (GDEX). Peta tata lahan yang digunakan adalah peta *clutter class* yang merupakan peta raster dengan piksel sebesar 50 m dan mempunyai 14 jenis kelas. Kemudian peta yang digunakan harus terhubung dengan koordinat WGS yang merupakan sistem geodesi dunia. Pemetaan ini menggunakan skema WGS 84 yaitu salah satu referensi

sistem koordinat yang digunakan oleh *Global Positioning System* (GPS). Untuk wilayah Indonesia, khususnya Malang diproyeksikan pada wilayah UTM *zone* 49S.

Beberapa parameter yang digunakan pada *coverage* dan *capacity dimensioning* disesuaikan dengan parameter pada *software* Atoll, agar hasil prediksi dan simulasi yang didapatkan mendekati hasil perhitungan. Parameter tersebut yaitu, antena yang digunakan, *radio bearer* (skema *mapper* modulasi), *link budget*, model propagasi, *frequency band* serta karakteristik layanan dan pelanggan LTE.



Gambar 4.3 Peta jalur Tol Cipali berdasarkan pembagian wilayah seksi

Tabel 4.23 *Radio bearer* pada konfigurasi *software* Atoll

Radio Bearer Index	Name	Modulation	Channel Coding Rate	Bearer Efficiency (bits/symbol)
1	QPSK 1/3	QPSK	0.33	0.66
2	QPSK 1/2	QPSK	0.5	1
3	QPSK 2/3	QPSK	0.67	1.34
4	16QAM 2/3	16QAM	0.67	2.68
5	16QAM 1/2	16QAM	0.5	2
6	16QAM 4/5	16QAM	0.8	3.2
7	64QAM 1/2	64QAM	0.5	4
8	64QAM 2/3	64QAM	0.67	5.36

Tabel 4.24 Spesifikasi antenna pada *software* Atoll

Antena	Gain (dBi)	Beamwidth	$f_{min}$ (MHz)	$f_{max}$ (MHz)
65deg 15dBi 0Tilt 700/800MHz	15	65°	698	894

Tabel 4.25 Parameter frekuensi pada *software* Atoll

Frequency Band	Duplexing Method	DL Start Frequency (MHz)	UL Start Frequency (MHz)	Bandwidth (MHz)
E-UTRA Band 28 – 20 MHz	FDD	758	703	20



Tabel 4.26 Template eNodeB pada *software* Atoll

Template eNodeB	Propagation Model	Max Power (dBm)	Main Calculation Radius (m)	eNodeB Height (m)
Urban	Okumura-Hatta	46	804	30
Sub Urban	Okumura-Hatta	46	2.060	30

## 4.7 Hasil Dan Analisa Simulasi Pada *Software* Atoll

### 4.7.1 Pemetaan eNodeB Pada *Software* Atoll

Penentuan lokasi *site* mengacu pada lokasi menara tower. Pada perancangan ini tidak menggunakan lokasi menara *existing* maka akan diberikan rekomendasi lokasi menara baru yang sesuai dengan pertimbangan cakupan area. Penempatan menara baru tetap mempertimbangkan penyebaran trafik pengguna yang tercakup suatu sel dan berada pada wilayah jalur tol. Penyebaran pengguna mengacu pada penyebaran penduduk yang terlihat pada peta *clutter*. Gambar 4.3 merupakan rekomendasi lokasi *site* yang digunakan pada perencanaan ini yang terdiri dari 11 *site*.



Gambar 4.4 Rekomendasi lokasi eNodeB di Jalur Tol Cipali pada *software* Atoll

Pada Tabel 4.25 terdapat 11 *site* yang digunakan. Lokasi *site* rekomendasi diantaranya 2 *site* berada di seksi 1, 2 *site* di seksi 2, 2 *site* di Seksi 3, 1 *site* di Seksi 4, 2 *site* di Seksi 5, dan 2 *site* di Seksi 6. Penentuan letak *site* eNodeB dalam skripsi ini berdasarkan efisiensi area yang tercakup *site* terhadap area total wilayah jalur tol Cipali serta memperhatikan kepadatan pengguna berdasarkan penyebaran jumlah kendaraan pada peta *clutter* di daerah yang terlayani tiap sel.

Tabel 4.27 Koordinat lokasi *site* di jalur tol Cipali

No	Nama / Lokasi Site	Koordinat		Wilayah
		Longitude (X)	Latitude (Y)	
1	Site 1	107,52472904	-6,462613284	Seksi 1
2	Site 2	107,61961223	-6,472211656	
3	Site 3	107,69821572	-6,50857478	Seksi 2
4	Site 4	107,78230829	-6,529422084	
5	Site 5	107,88521489	-6,546618039	Seksi 3
6	Site 6	107,99004503	-6,592174055	
7	Site 7	108,07256717	-6,648327169	Seksi 4
8	Site 8	108,15057039	-6,69898198	Seksi 5
9	Site 9	108,23717876	-6,711431437	
10	Site 10	108,30840567	-6,69568904	Seksi 6
11	Site 11	108,37237517	-6,696631873	

#### 4.7.2 Analisa Model Propagasi Okumura-Hatta

Pada skripsi ini propagasi yang digunakan adalah model Okumura-Hatta. Atoll menghitung *path loss* setiap piksel peta digital menggunakan model tersebut pada simulasi prediksi liputan. Pemetaan dikategorikan secara umum berdasarkan karakteristik *clutter* setiap seksi yaitu suburban. Perhitungan *path loss* dilakukan pada beberapa jarak yang berbeda. Perhitungan dan pengukuran *path loss* berikut dilakukan pada daerah urban dengan jarak 530 m.

- Perhitungan *path loss* melalui rumus

$$PL = C_1 + C_2 \log(f) - 13,82 \log(h_{BTS}) - a(h_{ms}) + [44,9 - 6,55 \log(h_{BTS})] \log(r)$$

$$PL = 69,55 + 26,16 \log 700 - 13,82 \log 30 - [1,1 \log 700 - 0,7]1,5 - [1,56 \log 700 - 0,8] + [44,9 - 6,55 \log 30] \log 0,53$$

$$PL = 69,55 + 74,42 - 20,41 - 0,006 + 35,22 \log 0,53$$

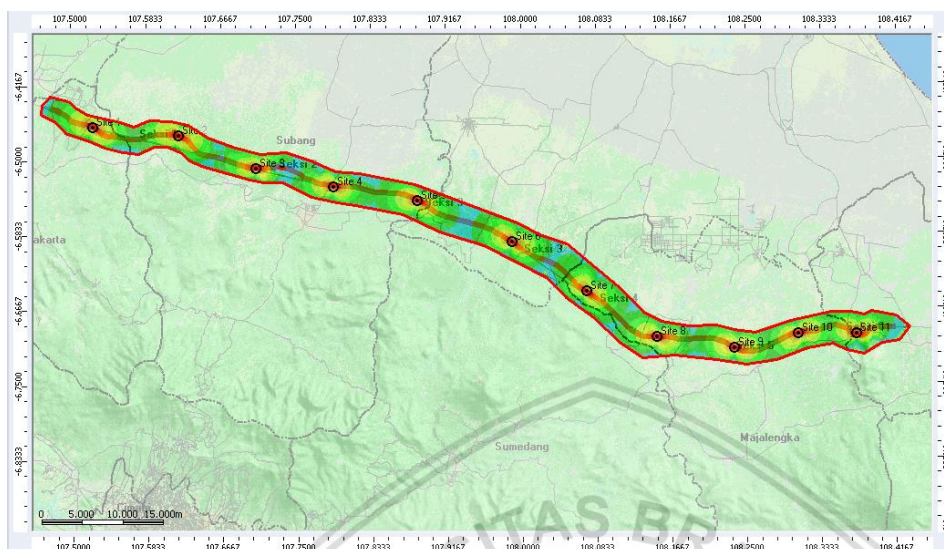
$$PL = 123,55 - 9,71$$

$$PL = 113,84 \text{ dB}$$

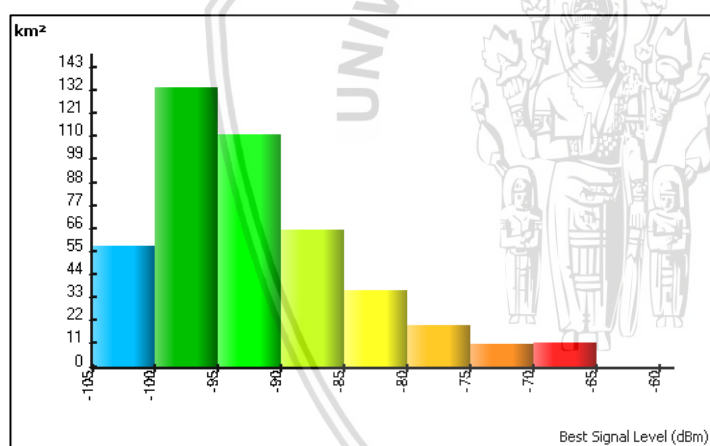
#### 4.7.3 Distribusi Level Daya Terima

Menurut wikipedia, jalur tol Cipali memiliki panjang wilayah 116,75 kilometer. Berdasarkan perhitungan *dimensioning* didapatkan 11 *site* untuk melayani pelanggan di sepanjang jalur tol Cipali pada tahun 2020. Simulasi melalui *software* Atoll digunakan untuk mengetahui distribusi level daya (*signal level*) rata-rata yang diterima pada daerah tinjauan.

Hasil prediksi mendapatkan nilai *best signal level* rata-rata -74,07 dBm. *Signal level* yang dikategorikan baik, yaitu  $>-90$  dBm mampu mencakup daerah seluas  $106,09 \text{ km}^2$ . Hasil prediksi *signal level* pada *software* Atoll ditunjukkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.5 Prediksi *signal level* pada *software* Atoll di jalur Tol Cipali



Gambar 4.6 Histogram *signal level* di jalur Tol Cipali

Pada Gambar 4.4 terlihat distribusi level daya pada perencanaan ini tergolong baik, karena sebagian besar area tercakup *signal level*  $\geq -90$  dBm. Daerah yang memiliki *signal level* kurang baik ( $\leq -90$  dBm) berada di wilayah suburban yang kepadatan penduduknya rendah.

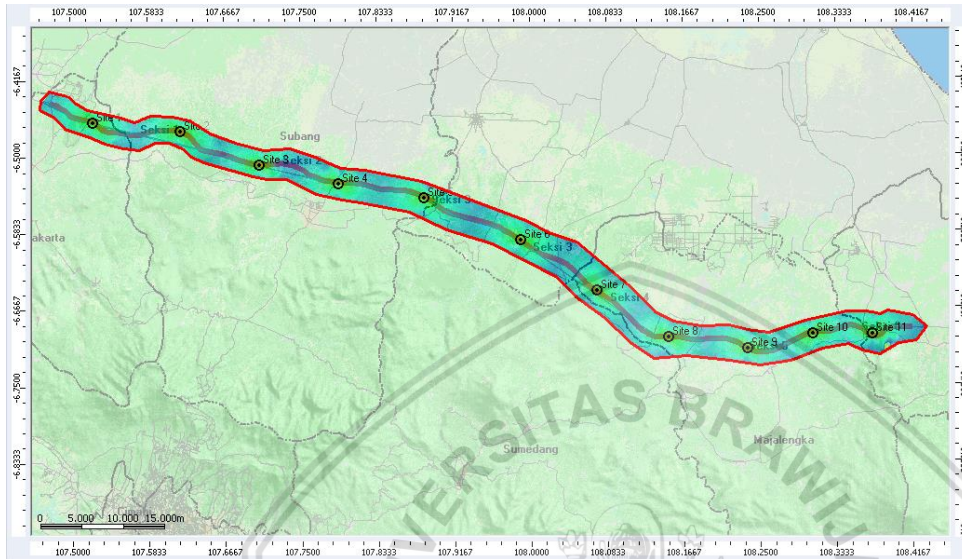
#### 4.7.4 Distribusi Effective signal di Jalur Tol Cipali

Pada distribusi *signal level* menunjukkan nilai-nilai parameter power yang ditransmisikan menuju user. Sedangkan pada distribusi *effective signal* ini menunjukkan



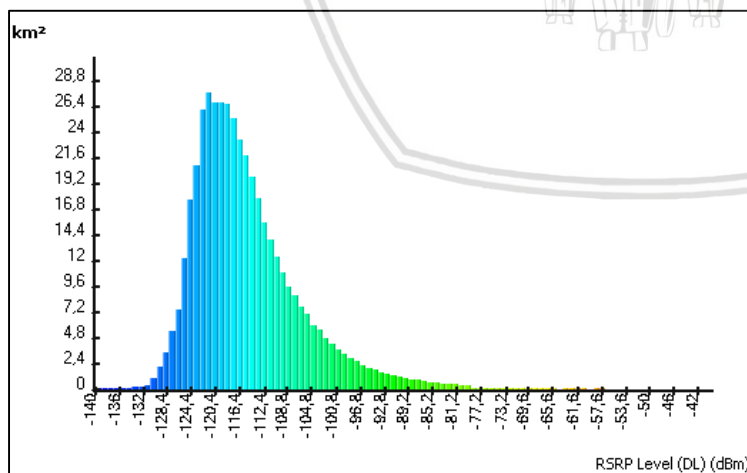
nilai parameter *Reference Signal Receive Power* (RSRP) yaitu parameter power rata-rata *Resource Elemen* (RE) pada setiap sel di seluruh *bandwidth*.

Dalam perencanaan jaringan LTE sepanjang jalur tol Cipali ini didapatkan bahwa nilai parameter RSRP bernilai -115,43 dBm. Berikut merupakan grafik yang menunjukkan *effective signal* di sepanjang jalur kereta api.



Gambar 4.7 *Reference Signal Receive Power* (RSRP) sepanjang jalur tol Cipali

Sedangkan untuk grafik persebaran *Reference Signal Receive Power* (RSRP) dalam hasil simulasi atoll menunjukkan bahwa rata-rata nilai RSRP bernilai -115,43 dBm berdasarkan luas wilayah yang tercakup dalam area tinjauan adalah sebagai berikut.



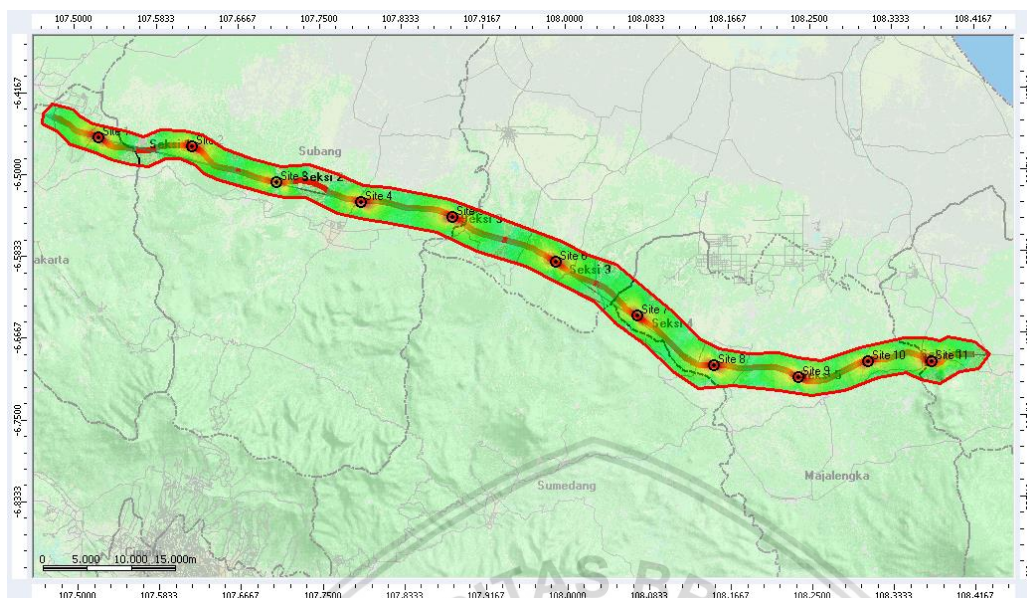
Gambar 4.8 Grafik *Reference Signal Receive Power* (RSRP) jalur tol Cipali.

#### 4.7.5 Distribusi *Carrier to Interference Noise*

Dalam penggunaan *Physical Cell Identity* (PCI) ini pengaruh interferensi yang didapatkan semakin kecil jika dibandingkan sebelum menggunakan PCI. Karena setiap sel akan diberikan

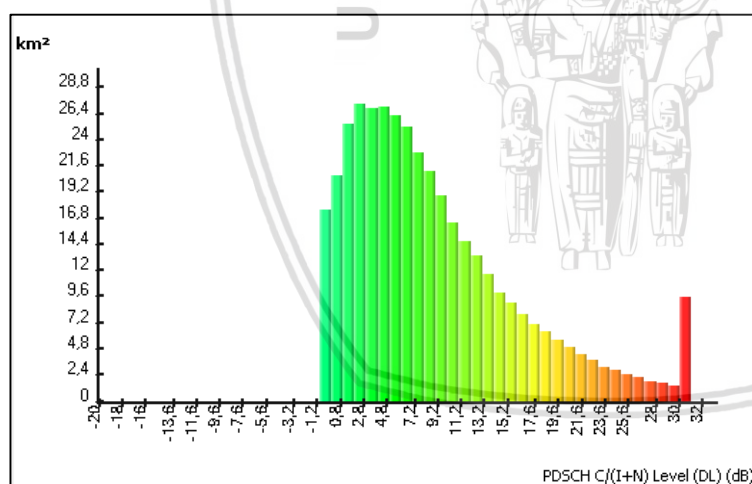


identitas yang berbeda dengan sel lain sehingga mengurangi tingkat interferensi. Dengan menggunakan PCI ini dapat meningkatkan nilai rata-rata  $C/(I+N)$  seperti simulasi berikut.



Gambar 4.9 Simulasi *Carrier to Interference Noise* sepanjang jalur tol Cipali

Sedangkan untuk grafik persebaran *Carrier to Interference Noise* berdasarkan luas wilayah yang tercakup dalam area tinjauan adalah sebagai berikut.



Gambar 4.10 Grafik *Carrier to Interference Noise* sepanjang jalur tol Cipali

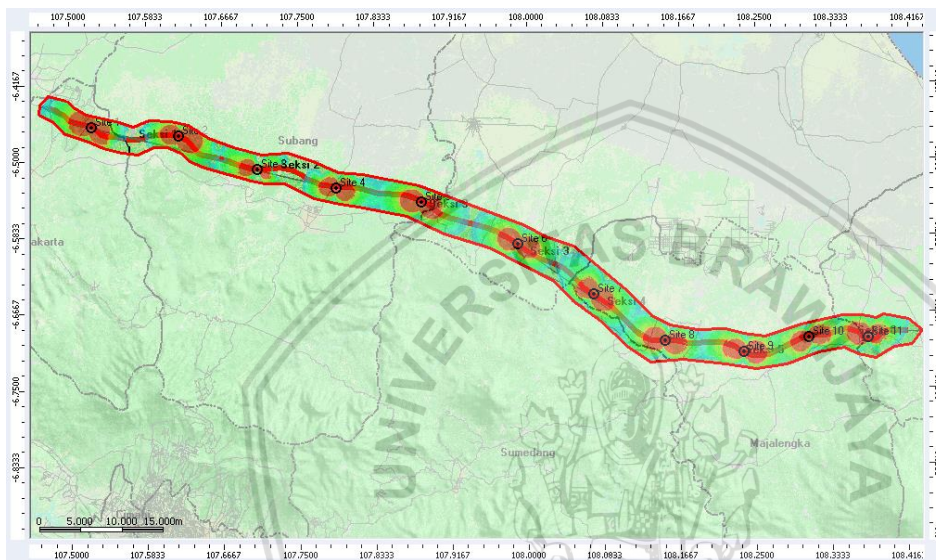
Tabel 4.26 menunjukkan hasil dari simulasi atoll menunjukkan bahwa perencanaan dalam kondisi baik serta dengan menggunakan PCI dapat meningkatkan nilai rata-rata  $C/(I+N)$  sebesar 0,15 dB yang sebelum menggunakan PCI nilai rata-rata sebesar 8.89 dB.

Tabel 4.28 Perbandingan  $C/(I+N)$  pada jalur tol Cipali

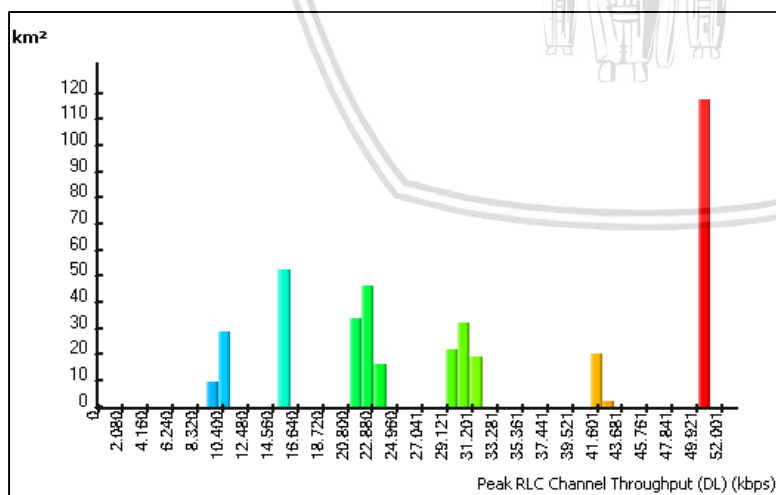
KPI vendor	Dengan PCI	Tanpa PCI
$C/(I+N) (\geq 6\text{dB})$	9,04 dB	8.89 dB

#### 4.7.6 Distribusi Throughput dan PCI di Jalur Tol Cipali

Di sepanjang jalur tol Cipali juga dapat diukur nilai parameter throughput yang diterima oleh setiap user. Dimana nilai parameter throughput berpengaruh terhadap kualitas kanal yaitu semakin besar nilai *Channel Quality Indicator* (CQI) maka semakin besar pula *throughput* yang didapatkan begitu sebaliknya. Pada jalur tol ini sangat berpengaruh kualitas kanal karena kondisi daerah pada jalur tersebut daerah perbukitan sehingga peluang akan kecilnya CQI user yang berada di sisi dataran yang lebih rendah. Berikut simulasi sepanjang jalur tol.



Gambar 4.11 Simulasi *Throughput* sepanjang jalur tol Cipali



Gambar 4.12 Grafik *Throughput* sepanjang jalur tol Cipali

Dalam simulasi menggunakan aplikasi atoll menunjukkan bahwa *throughput* dengan menggunakan PCI dapat meningkatkan nilai *throughput* rata-rata yaitu sebesar 48 Mbps sedangkan tanpa menggunakan PCI nilai rata-rata *throughput* sebesar 47,96 Mbps.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Latar Belakang

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi dalam perencanaan jaringan LTE di jalur tol Cipali maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Prediksi jumlah rata-rata perhari kendaraan di jalur tol Cipali pada tahun 2020 adalah sebagai berikut:
  - Sebanyak 157.055 kendaraan di seksi I.
  - Sebanyak 146.088 kendaraan di seksi II.
  - Sebanyak 81.145 kendaraan di seksi III.
  - Sebanyak 78.524 kendaraan di seksi IV.
  - Sebanyak 100.890 kendaraan di seksi V.
  - Sebanyak 105.452 kendaraan di seksi VI.
2. Jumlah site eNodeB yang diperlukan berdasarkan *coverage dimensioning* sebanyak 8 site dan berdasarkan *capacity dimensioning* sebanyak 11 site. Sehingga dalam perencanaan menggunakan kebutuhan terbanyak yaitu sejumlah 11 site eNodeB dan 22 sel dimana setiap site memiliki 2 *cell* karena menggunakan antena 2-sectoral.
3. Penentuan letak *site* eNodeB dalam penelitian ini berdasarkan efisiensi area yang tercakup *site* terhadap area total jalur tol Cipali serta memperhatikan kepadatan pengguna berdasarkan penyebaran kendaraan pada tiap seksi di daerah yang terlayani tiap sel.
4. Berdasarkan simulasi Atoll, perencanaan ini mempunyai performansi sebagai berikut:
  - nilai signal level rata-rata -74,07 dBm dengan *signal level* yang dikategorikan baik yaitu  $>-90$  dBm mampu mencakup daerah seluas  $65 \text{ km}^2$ . Sedangkan hasil terbaik pada -70 dBm mampu mencakup daerah seluas  $11,1 \text{ km}^2$ .
  - Nilai rata-rata RSRP yang diperoleh adalah -115,4 dBm dimana sebagian besar cakupan dalam kondisi normal. Nilai tersebut masih berada di atas nilai minimum RSRP yang diizinkan, yaitu -140 dBm.
  - Berdasarkan hasil simulasi Atoll nilai C/(I+N) yang didapat di sepanjang jalur tol Cipali rata-rata sebesar 9,04 dB. Nilai tertinggi pada 30 dB dapat mencakup area seluas  $9,48 \text{ km}^2$ .
  - Nilai *throughput* tertinggi yang diperoleh sebesar 50.000 Kbps dan mencakup area seluas  $117,3 \text{ km}^2$  sedangkan nilai rata-rata *throughput* yang diperoleh sebesar 47.956 Kbps. Hal ini menunjukkan bahwa DL *throughput* tertinggi masih dibawah kapasitas *throughput* per sel yang dapat dilayani sebesar 68.860 Kbps.

## 5.2 Saran

Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai waktu yang tepat untuk implementasi LTE pada frekuensi 700 MHz serta pembagian *bandwidth* setiap operator yang disesuaikan dengan kemampuan operator seluler di Indonesia.

Penelitian selanjutnya dapat menganalisa perbandingan performa jaringan berdasarkan besar alokasi *bandwidth* atau model propagasi yang berbeda. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, hendaknya penentuan trafik pengguna dapat diamati lebih detail dengan memperhatikan golongan tiap kendaraan untuk mendapatkan jumlah user dalam suatu kendaraan dengan lebih tepat. Sehingga cakupan sel dapat dioptimalkan ke daerah padat pengguna dengan menggunakan pembelahan sel.





## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Basyit, Syed. 2009. Dimensioning of LTE Network Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution Radio Interface. *Thesis*. Unpublished. Finland : Helsinki University of Technology.
- Amirijoo, M., Pal F., Fredrik G., Harald K., Johan M., Kristina Z. 2008. Neighbor Cell Relation List And Physical Cell Identity Self-Organization in LTE. Dalam Amirojoo, M. *IEEE International Conference on Communications Workshops*: 37-41. Beijing: IEEE.
- Aryanta, Dwi. 2012. Analisis Pengalokasian Frekuensi Teknologi Long Term Evolution (LTE) Di Indonesia. *Jurnal Informatika*. 3 (3): 48-58.
- Asosiasi Penyedia Jasa Internet Indonesia. 2015. *Profil Pengguna Internet Indonesia 2014*. Jakarta: Perpustakaan Nasional RI.
- Baihaqi, Nico. 2015. Perencanaan Coverage Dan Capacity Jaringan Long Term Evolution (LTE) Frekuensi 700 MHz Pada Jalur Kereta Api Dengan Physical Cell Identity (PCI). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Bandung: Telkom University.
- Ditjen Penataan Ruang Kementerian Pekerjaan Umum. 2011. *Kriteria Lokasi Menara Telekomunikasi*. Jakarta: Ditjen Penataan Ruang Kementerian Pekerjaan Umum.
- Ericsson. 2015. *Ericsson Mobility Report*. Stockholm: Ericsson.
- Floatway Learning Center. 2014. *4G RF Planning & Optimization*. Jakarta: Floatway Systems.
- Holma, Harri., Toskala, Antti. 2009. *LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- Huawei Technologies. 2010. *LTE Radio Network Capacity Dimensioning*. Shenzhen: Huawei Industrial Base.
- Huawei Technologies. 2010. *LTE Radio Network Coverage Dimensioning*. Shenzhen: Huawei Industrial Base.
- Indonesia, PT. Lintas Marga Sedaya (LMS). (2016). *Data Trafik Lalulintas Tol Cipali*. Tidak dipublikasikan. Subang: PT. Lintas Marga Sedaya.
- Isserman, Andrew. 1977. *Accuracy of Population Projections for Sub-county Areas*. Journal of American Institute of Planners. Vol 43, pp- 247- 59.
- Jansen, Thomas., Balan, Irina., Turk, John., Moerman, I., Kurner, T. 2010. *Handover Parameter Optimization in LTE Self-Organizing Networks*. Ottawa : IEEE Vehicular Technology Conference.



- Sesia, S., Issam, T., Mathew, B. 2011. *LTE – The UMTS Long Term Evolution, Second Edition*. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- Usman, U.K., Galuh, P., Denny, K.H., Sigit, D.P. 2013. *Fundamental Teknologi Seluler LTE*. Bandung: Rekayasa Sains.
- Wicaksono, Rio. 2016 Perencanaan Jaringan LTE Area Kota Malang Pada Frekuensi 700 MHz Berdasarkan *Coverage And Capacity* Menggunakan *Software Atoll Radio Planning*. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- ZTE Corporation. 2013. *APT 700MHz Best Choice For Nationwide Coverage*. London: GSM Association.

